

LES SKARNS METALLIFERES
DE FRAMONT - GRANDEFONTAINE (Bas-Rhin)
LEUR MINERALISATION EN FER ET EN TUNGSTENE

Jes
bibli

par

J. BOULADON, L. BURNOL
P. PICOT et P. SAINFELD

Paris, le 8 Mai 1964
D.S. 64 - A 33

B. R. G. M.

Bureau de Recherches
Géologiques et Minières
74 rue de la Fédération
PARIS XVème

LES SKARNS METALLIFERES

DE FRAMONT - GRANDFONTAINE (Bas-Rhin)

LEUR MINERALISATION EN FER ET EN TUNGSTENE

par

J. BOULADON, L. BURNOL

P. PICOT et P. SAINFELD

Paris, le 8 Mai 1964

D.S. 64 - A 33

S O M M A I R E

RESUME

INTRODUCTION - SITUATION GEOGRAPHIQUE -

CHAPITRE PREMIER - CADRE GEOLOGIQUE -

I - GENERALITES

II - LA SERIE VOLCANO-SEDIMENTAIRE DU DEVONO-DINANTIEN ET SES TRANSFORMATIONS

A - Termes franchement volcaniques :

- 1 - Kératophyres,
- 2 - Tufs kératophyriques
- 3 - Andésites
- 4 - Tufs basiques et chalsteins

B - Skarns

- 1 - Skarns à hédénbergite et grenat
- 2 - Skarns à grenat seul

C - Termes franchement sédimentaires

- 1 - Grauwackes et brèches associées
- 2 - Dolomies et calcaires.

III - LES GRANITES ET LEUR CORTEE FILONIE

- 1 - Batholite du Hochfeld et du Champ du Feu
- 2 - Granite porphyroïde de Natzwiller et filons de microgranite associés.
- 3 - Granite du Kagenfels
- 4 - Filons de lamprophyre (minette)

CHAPITRE SECOND - MINERALISATION -

I - GENERALITES - HISTORIQUE

II - LA ZONE MINERALISEE SEPTENTRIONALE : LE QUARTIER DES MINIERES

A - Travaux anciens

- La galerie de la Chapelle
- La galerie des Minières
- Le Hornstatt Vincent
- Les autres niveaux

B - Travaux du B.R.G.M.

1 - Sondages

2 - Travaux miniers

. le puits

. le travers-banc

. le traçage

III - LA ZONE MINERALISEE MERIDIONALE

A - Alignement principal

- Mine Grise

- Mine des Engins

- Mine Rouge

- Mine Jaune et Travaux du Curé

B - Second alignement

- Mine Noire

- Mine de Metzger

IV - LA MINE DE L'EVECHE

V - LES GITES FILONIENS

VI - CONSIDERATIONS METALLOGENIQUES

A - Type de gisement

B - Genèse du gisement

C - Origine et âge de la minéralisation

BIBLIOGRAPHIE

PLANCHES MICROPHOTOGRAPHIQUES

ANNEXE :

Répartition de WO_3 et de BeO dans les travaux faits par le B.R.G.M. à la cote 529 du Quartier des Minières.

LISTE DES FIGURES ET DES PLANCHES

- FIGURE 1 - Carte géologique et gîtologique de la partie septentrionale des Vosges hercyniennes.
- FIGURE 2 - Cadre géologique des gisements de la Haute Vallée de la Bruche.
- FIGURE 3 - Carte géologique et coupe transversale interprétées du secteur de Framont-Grandfontaine
- FIGURE 4 - Plan et coupe des travaux de Framont-Grandfontaine
- FIGURE 5 - Stéréogramme des travaux des Minières
- FIGURE 6 - Coupe de la formation minéralisée des Minières et bloc-diagramme schématique
- FIGURE 7 - Plans et coupes des travaux de l'Évéché, du Bas-Donon et de Noire-Maison.
- FIGURE 8 - Plans et coupes des gîtes filoniens de la région de Rothau
- FIGURE 9 - Teneurs en WO_3 et Be reconnues dans les travaux B.R.G.M. 1961 (cote 529)

Planches I à 8 - Planches microphotographiques.

R E S U M E

Les skarns métallifères de Framont-Grandfontaines, dont le B.R.G.M. a repris l'étude, lors d'une récente campagne de sondages et travaux miniers, présentent la double particularité d'être apparemment éloignés du granite et d'être associés à des amas d'hématite épigénisant la dolomie ou le calcaire de leur toit.

Ces amas, exploités depuis le 12^e siècle, fournissaient un minerai de fer apprécié, par suite de la présence, d'ailleurs ignorée, de scheelite dans les skarns d'éponte.

Les skarns eux-mêmes, essentiellement grenatifères et assez pauvrement minéralisés initialement (en scheelite, magnétite et pyrrhotite avec Cu et Mo), ont été profondément transformés ensuite par un léger apport pneumatolytique (avec F et Be), et surtout par une imprégnation hydrothermale massive de pyrite et d'oligiste avec enrichissements locaux en cuivre et bismuth.

Du point de vue économique, les espérances d'un petit gisement à forte teneur en WO₃, éveillées par deux sondages positifs, n'ont pas été confirmées par les travaux miniers, l'irrégularité de la minéralisation étant cause d'une baisse brutale de la teneur moyenne escomptée.

I N T R O D U C T I O N

Les mines de fer de la haute-vallée de la Bruche, aux environs de Schirmeck (Haut-Rhin), ont été l'objet d'une exploitation **multiséculaire** qui a pris fin vers 1870.

Le centre principal d'exploitation **était** situé dans le vallon des Minières et sur son versant sud, à quelques kilomètres à l'W de la ville de Schirmeck (anciennes concessions de Framont et de l'Evêché) ; d'autres gisements plus réduits se trouvaient de l'autre côté de la vallée de la Bruche (anciennes concessions de Baunwald et de Rothau), à quelques kilomètres au Sud-Est. (Figures 1 et 2).

La présence de tungstène dans le minerai n'était sans doute pas étrangère à la grande réputation qu'avaient sur le marché européen, aux 18^e et 19^e siècles, les aciers en provenance des "Forges de Framont". C'est ce dernier point, considéré jusqu'alors comme tout à fait accessoire, qui a motivé l'étude de détail des gisements, reprise au cours de ces dernières années.

CHAPITRE PREMIER

CADRE GEOLOGIQUE

I - GENERALITES

Le tungstène n'est connu, dans les Vosges, que sous forme de scheelite (tungstate de chaux), découverte à Framont vers 1850 (Carrière, 1853), puis retrouvée dans la plupart des mines voisines ainsi qu'en deux autres points de la même région : Raon l'Etape et la Grande-Fosse (Burnol et Loughnon, 1952).

Ces indices sont situés à la partie septentrionale des Vosges hercyniennes, dans des formations volcano-sédimentaires du Dévonien-Dinantien, qui affleurent largement dans le bassin de la Bruche en bordure nord-occidentale du massif granitique du Champ du Feu, et qui forment en outre sur le granite une trainée de petits lambeaux isolés, de St-Nabord à la Grande-Fosse, et au delà jusqu'à Raon l'Etape.

A proximité apparaissent, du Donon à Sénonès, les premiers contreforts des Vosges gréseuses qui s'étendent vers le Nord-Ouest et le Nord (Figure 1)

On ne connaît de formations analogues au Dévonien-Dinantien de la Bruche qu'à l'autre extrémité du massif vosgien dans la région de Belfort.

Le synclinorium de la Bruche (Figure 2) est constitué de faisceaux de plis très serrés, affectés d'accidents principaux à dominante nord-est (failles de Saales et de Saint-Stail).

Les résultats des études nombreuses effectuées sur ce complexe peuvent être résumées dans le schéma stratigraphique suivant, que nous reproduisons, d'après G. et C. Dubois (1955) :

DINANTIEN

et

DEVONIEN SUPERIEUR

VISEEN

Supérieur :

Premières phases d'émersions
Plissements hercyniens

Moyen et inférieur :

- . Schistes de Champenay
à Cardioptéris frondosa
et Sphenopteridium dissectum
- . Schistes à Posidonomya
et phitanites à Radiolaires de Wisches

TOURNAISIEN

et

DEVONIEN SUP.

Arkoses et schistes rouges de Hersbach

Schistes, psammites rouges et dolomies
de la Crache ; phyllades grises de Nideck

GIVETIEN

Schistes à Psilophyton (Astéroxyton) hostimensis,

grauwackes, calcaires bréchiques, récifaux et dolomitique à Stringocephalus
Burtini et Stromatopores, de Wapkenbach, Shirneck, Russ.

Skarns de Framont-Grandfontaine, Raon l'Etape et la Grande-Fosse.

Andésites ("trapps"), tufs et kératophyres de la Tête Wathis et
du Champ du Feu.

EIFELIEN

Grauwacke gréseuse et conglomératique de Champenay à

Calocola sandolina ; poudingue de Russ, Barenbach.

C'est dans un petit repli secondaire du "massif de la Bruche", situé entre le vallon des Minières et les hauts de la Tête Wathis que sont alignés les principaux amas minéralisés du gisement de Grandfontaine. (Figure 3).

Une sorte de graben, limité par deux failles est-ouest, distantes de 500 à 600 m., a permis la conservation des skarns métallifères, dessinant deux petites structures, l'une anticlinale au Nord, vers la vallée, l'autre synclinale sur le versant sud.

Enfin, la structure est recoupée de nombreux petits accidents transversaux nord-ouest, à faible rejet, injectés ou non de filons de microgranite ou de minette.

II - LA SERIE VOLCANO-SEDIMENTAIRE

DU DEVONIEN SUPERIEUR ET SES TRANSFORMATIONS

Le Dévonien supérieur de la Bruche, dans lequel apparaissent les skarns métallifères de Grandfontaine, est une série volcano-sédimentaire où l'on peut distinguer des termes franchement volcaniques (laves et tufs), des termes franchement sédimentaires (grauwackes, dolomies et calcaires), et enfin des termes mixtes (tufs remaniés à ciment dolomitique), qui ne sont généralement plus conservés dans la zone minéralisée, car ce sont précisément eux qui ont donné naissance aux skarns.

Les autres roches, affectées d'un métamorphisme de contact moins poussé, sont plus aisément reconnaissables. (1).

Dans l'ensemble, il s'agit d'un volcanisme albitique, à kératophyres dominants, en milieu aqueux de faible profondeur. Sur un plan plus général, le secteur étudié, qui appartient à la zone saxo-thuringienne, se situerait en bordure nord d'une ride eugéanticienne de l'orogénie hercynienne (Auboin, 1961): le Dévonien supérieur qui est représenté ici par des calcaires de type griotte, à intercalation de kératophyres et de tufs kératophyriques, passe vers le Nord à des grauwackes à intercalations de diabase, qui correspondraient au faciès de comblement du sillon eugéosynclinal voisin.

Nous décrirons successivement ces différents types de roches, en résumant ce que nous savons de leur répartition sur les flancs nord et sud de l'anticlinal de Grandfontaine, et en particulier dans les travaux miniers (2).

(1) Le métamorphisme général d'âge hercynien est très faible dans cette région.

(2) Pour la localisation des points cités, se rapporter aux figures 4, 5 et 7.

A - TERMES FRANCHEMENT VOLCANIQUES

1 - KERATOPHYRES (1)

Découverts et minutieusement décrits par Hüking (1896 et 1918) les kératophyres du Dévonien de la Bruche sont généralement quartzifères. Dans notre zone d'étude, ce sont toujours des roches dures, de teinte claire, rose ou gris-verdâtre à la cassure, avec quelques phénocristaux rougeâtres épars sur un fond très finement grenu où apparaissent souvent de courtes trainées de pyrite et chlorite.

Au microscope, les phénocristaux (1 - 2 mm) sont généralement constitués de feldspaths automorphes, souvent associés par deux ou par trois ; ces feldspaths sont le plus souvent d'oligoclase-albite, parfois de microperthite (association de feldspath potassique et d'albite). Les phénocristaux de quartz, corrodé, sont plus rares. Enfin, il existe localement (galerie K') quelques phénocristaux de biotite altérée.

Le fond de la roche est soit un feutrage de microlites feldspathiques avec quartz interstitiel, soit un agrégat équigranulaire (0,1 mm) d'oligoclase-albite et de quartz. Souvent, les microlites feldspathiques sont rongés par la recristallisation d'un verre, avec formation de petits sphérolites micropegmatitiques ou de petites boules (0,3 mm) de quartz. Cette structure en boulettes ("Kügelstruktur" de Hüking), qui reste observable au microscope même quand la roche est altérée et séricitisée, constitue, d'après Hüking (1918), une bonne caractéristique des kératophyres des Voages (Photo 1).

(1) Rappelons que les kératophyres sont, comme les spilites, des laves albitiques, généralement interstratifiées ou intrusives dans des sédiments marins. Les kératophyres sont l'équivalent, pour les andésites et les dacites, de ce que sont les spilites pour les basaltes.

Dans certains échantillons, les phénocristaux manquent complètement ; dans d'autres la "Kugelstruktur" est absente. Parfois, le fond de la roche est largement recristallisé en un agrégat de feldspath non maclé, associé ou non à un peu de quartz, et sur lequel la structure microlitique antérieure reste visible en surimpression (photo 2) ; et il semble que ce type de recristallisation soit caractéristique des filons kératophyriques (tracage B.R.G.M., 39 m.), difficiles à identifier parfois dans les travaux miniers : on observe en effet dans l'un d'eux le passage d'une zone marginale avec "Kugelstruktur" à une zone centrale présentant cette structure grenue (TB B.R.G.M. ; 16,5 m.). Il existe même de véritables filons d'apparence granitique, recoupant les tufs kératophyriques, et dont l'étude microscopique montre qu'ils se rattachent au même processus de recristallisation (recoupe R 1 ; 7,4 m.).

Localement apparaissent, dans ces kératophyres, de petits amas caverneux d'anorthose, atteignant parfois 1 m. ; un de ces amas est bien visible au toit de la galerie des Minières (cote 550) à 10 m. de l'entrée environ ; la même roche existe dans les déblais des mines, du Curé et de l'Evêché. En lame mince, la roche est un agrégat d'anorthose très fraîche, souvent automorphe (1mm.) à minuscules inclusions (0,05 mm) d'apatite et parfois de muscovite. Ce genre d'accumulations d'anorthose semble un accident assez fréquent des magmas riches en soude. Enfin, il faut noter l'apparition, dans les géodes de l'agrégat ainsi formé et dans des veinules traversant la roche, d'un dépôt de quartz associé à un peu de dolomie et d'oligiste, parfois de pyrite et scheelite.

On assiste là à une reprise du matériel kératophyrique par les séquences hydrothermales du métamorphisme qui a donné naissance aux skarns. Ce métamorphisme lui-même se traduit éventuellement (galerie K') tracage et recoupe R 4 B.R.G.M.) par le développement de biotite verte (0,5 mm), éparses, avec pyrite et chlorite dans la pâte des kératophyres ; parfois apparaissent des veinules de quartz avec pyrite et scheelite, ou avec fluorine.

2 - TUFS KERATOPHYRIQUES

Toujours associés aux kératophyres, ces tufs s'en distinguent mal sur le terrain. Ce sont aussi des roches très dures,   cassure esquilleuse, de teinte généralement claire (gris-vert ou rose), mais parfois noire et exceptionnellement rouge. Leur aspect extérieur est souvent rubané, comme étiré, ce qui donne sous le microscope une pseudo-fluidalité rappelant celle des tufs soudés rhyolitiques (ou ignimbrites). Certains faciès, comme le tuf jaspeux rouge recoupé au toit des skarns par la galerie de la Chapelle, présente de menus fragments étirés (0,1   1 mm), formés d'un agrégat de silice et d'oxyde de fer, qui évoquent les "fiamme" des ignimbrites. (1)

Au microscope, on peut distinguer des tufs riches en débris cristallins, des tufs pauvres en débris cristallins, des tufs   fragments lithiques, et des tufs essentiellement vitreux.

Les débris cristallins (0,5   2 mm) sont constitués de plagioclase proche de l'albite et de quartz corrodé. Parfois, il s'y ajoute quelques fragments arrondis de lave kératophyrique. La mésostase, d'aspect parfois fluidal a généralement une structure felsitique : agrégat très fin quartzo-feldspathique, provenant de la recristallisation d'une pouss re de verre, localement s'y développent des éponges de feldspath, des nodules de calcédoine. Il arrive que le tuf kératophyrique soit parcouru de veinules rosées d'anorthose tardive avec un peu de quartz, de dolomie et de chlorite, parfois de scheelite (Puits B.R.G.M. : 30 m.).

Le métamorphisme de contact, plus sensible dans ces tufs que dans les kératophyres voisins, s'y traduit par l'apparition de bi tite verte très fine, soit éparse dans la matrice du tuf, dont elle souligne éventuellement la pseudo-fluidalité, soit rassembl e en nids et veinules.

(1) C'est, semble-t-il, ce genre de roche,   pseudo-fluidalité d'écrasement, que Hickling (1918) a décrit sous le nom de "flaser-kératophyre".

Enfin, au toit immédiat des intercalations de pseudo-skarns dont nous reparlerons, on constate une sorte d'imprégnation fissurale des tufs sous-jacents, que sillonnent d'innombrables fileonnets de quartz, pennine, pyrite, épidote et parfois scheelite (Puits B.R.G.M. : 35,40 m).

D'une façon général, les tufs kératophyriques apparaissent, beaucoup plus que les kératophyres eux-mêmes, susceptibles d'accueillir une minéralisation pauvre et disséminée, en relation avec la formation des skarns. A ce métamorphisme de contact se superpose localement une action pneumatolytique avec développement tantôt de kaolin (galerie de la Chapelle), tantôt de muscovite foisonnante, associée à du quartz en agrégat ; il se forme ainsi de véritables "greisens" dont la localisation témoigne peut-être de l'existence de coupoles granitiques sous-jacentes. (Mine rouge, Mine du Curé : galerie Terlingoutte, Mine de l'Evêché : niveau inférieur) (1).

Répartition :

Les kératophyres et tufs kératophyriques, toujours associés, affleurent largement dans la région de Grandfontaine ; nous les avons reconnus en particulier vers le Sud à la Tête Mathis, et sur les pentes au N. des Minières jusqu'à la route du Donon. Dans les deux cas, il s'agit d'une série puissante, comportant quelques intercalations d'andésite, et qui se situe manifestement au mur des skarns métallifères. Les travaux miniers ont en effet retrouvé des kératophyres à intercalations d'andésite à la Mine du Curé, au flanc sud de l'anticlinal des Minières (kératophyres et tufs kératophyriques du mur à la galerie K', de la Mine Rouge, la Mine Grise et la Mine de Metzger), et au flanc nord du même anticlinal (galerie de la Chapelle, galerie des Minières, puits et travaux B.R.G.M.)

(1) L'examen spectrographique de deux échantillons de "greisen", prélevés sur le bord de l'excavation de la Mine Rouge, y a révélé 70 et 140 millièmes de Li, 40 et 60 millièmes de Sn, 11 et 14 millièmes de Be, ce qui confirme l'hypothèse d'un apport pneumatolytique..

3 - ANDESITES

Ce sont les roches décrites par Hocking (1918) sous le nom de diabases, terme sous lequel il groupe d'ailleurs plusieurs faciès assez différents, en particulier des spilites, et aussi des "diabases quartzifères" qui apparaissent en intercalations dans les kératophyres.

Les andésites que nous avons examinées dans le secteur de Grandfontaine se situent au mur des skarns métallifères, interstratifiées dans les kératophyres et tufs kératophyriques que nous venons de décrire.⁽¹⁾ On en connaît en surface à la Tête Mathis ainsi qu'au N des Minières (route du Donon), et dans les travaux miniers (Recherche du Curé, Chapelle, Minières) et dans les sondages (S 6 bis, 56,60 m.). La puissance de chacune de ces intercalations varie de un à plusieurs mètres.

La roche est sombre, presque noire, avec ou sans phénocristaux de feldspath blanc (1 à 2 mm). Au microscope, on reconnaît qu'il s'agit d'oligoclase ; le fond de la roche est un entrecroisement de microlites feldspathiques (0,2 mm) de même nature orientés en tous sens, et qui donnent parfois à la pâte un aspect tourbillonnaire (structure trachytique). Entre ces microlites feldspathiques se développent des touffes de hornblende verte, des grains d'épidote, de sphène, de zoisite, des agrégats de fines lamelles de biotite verte, parfois un peu de diopside, enfin des chlorites et de la calcite tardives. La roche, qui finit par prendre l'aspect d'un skarn, peut même être minéralisée en scheelite. C'est le cas du niveau de pseudo-skarn atteint au bas du puits B.R.G.M. et par les recoupes R 1 et R 4 ; un second niveau, plus mince et moins continu apparaît dans le T B à 15 m. du puits.

Ce développement de hornblende, biotite verte, sphène, actinote, chlorite, etc... traduit un métamorphisme connexe de la formation des skarns. Il convient de souligner que la hornblende est ici plus abondante que la biotite, alors que l'inverse se produisait dans les kératophyres.

(1) L'association des andésites (ici non albitiques) et des kératophyres a d'ailleurs été reconnue depuis longtemps à Grandfontaine (Rosenbusch, 1908).

Une observation analogue a été faite par F. Permingeat (1957) dans son étude sur le gisement d'Assegour (Maroc), où il note que hornblende et biotite sont liées toutes deux au métamorphisme de contact (la hornblende s'étendant cependant plus loin du granite), et que la biotite est plus abondante dans les roches les plus acides.

4 - TUFS BASIQUES ET "SCHALSTEINE"

On connaît des tufs andésitiques intercalés dans les kératophyres, où ils accompagnent parfois les andésites (Mine du Curé). Les plus typiques de ces tufs sont ceux recoupés par les galeries inférieure et supérieure de la Mine de l'Evêché.

Ce sont des roches sombres, toujours verdies, et dans lesquelles on reconnaît au microscope des débris d'andésine (0,1 à 1 mm), des fragments d'andésite (2 mm), et de kératophyre, et parfois de courtes loupes (0,4 mm) vitreuses finement recristallisées ; la matrice de la roche est un agrégat feldspathique très fin (0,05 mm), parfois mêlé de quartz, et dans lequel se développent à foison les minéraux néogènes : biotite verte très fine (0,01 mm), sphène, hornblende, chlorite et pyrite, parfois actinote et albite.

Certains de ces tufs, caractérisés par la présence de carbonates (calcite ou dolomie) secondaires assez abondants, méritent, d'après Hocking (1920), le nom de "Schalsteine". On appelle ainsi des tufs basiques à ciment carbonaté, déposés dans l'eau et partiellement remaniés, qui peuvent contenir des fragments d'Encrines et de Coraux.

Ces tufs calcaires présentent pour nous un intérêt particulier, car ils tendent, par métamorphisme, à se transformer en skarn. Tels sont les minces niveaux basiques (0,5 à 1 m) recoupés par le T.B. du B.R.G.M. (à 5,4 m ; 15 m ; 18,5 m ; et 22,7 m du puits), en intercalations dans les kératophyres et tufs kératophyriques.

On y reconnaît au microscope des fragments de kératophyre et des r s dus de matrice felsitique (agrégat très fin d'oligoclase et parfois de quartz) dans un développement remarquable de hornblende (parfois retromorphos  en chlorite et dolomie) et de sphène, d'épidote, parfois de biotite verte très fine (0,01 mm), enfin de chlorite, calcite, dolomie et pyrite. La biotite lorsqu'elle existe, prend naissance soit dans les strates les plus riches en quartz (elle souligne ainsi le litage de la roche), soit au contact de certaines fissures. Ces skarns retromorphos s, sont minéralisés en scheelite et chalcoppyrite.

On peut penser que si les "Schalsteine" se sont prêtés mieux que les autres tufs basiques   cette transformation en skarn, c'est qu'ils comportaient initialement une certaine proportion de carbonates. Ces derniers ne sont d'ailleurs pas seulement d'origine volcanique, puisque des fragments d'Encrines et de Coraux ont été signalés dans la roche. Les "Schalsteine" constituent en effet une formation mixte, partiellement volcanogène et partiellement sédimentaire.

B - S K A R N S

Il est infiniment probable que les skarns proviennent de la transformation d'un sédiment mixte, volcano-sédimentaire, mais plus calcaire que les Schalsteine, et ne comportant que des éléments pyroclastiques fins . On ne trouve pas en effet, dans les skarns, de fragments de kératophyre ou d'and s ite conservés. Bien que l'ensemble de la roche ait fait l'objet d'une série de transformations, qui n'ont rien laissé subsister du sédiment primitif, on peut avec beaucoup de vraisemblance se le représenter comme un calcaire (ou une dolomie) impur, contaminé par de menus éléments pyroclastiques remaniés. En effet, la formation principale de skarn (1) se situe toujours stratigraphiquement au mur immédiat des calcaires (ou dolomies) ; ils forment transition

(1) On peut en rencontrer cependant, aussi sporadiquement, au toit des dolomies (S 6) ou même dans la formation minéralisée entre deux amas d'hématite (diaphragme de 10 m séparant les anciens et les nouveaux travaux des Minières).

entre ceux-ci et les tufs sous-jacents, dont ils sont souvent séparés par une mince ruban de grauwacke (travaux B.R.G.M.)

Il importe de préciser encore que ces skarns apparaissent ici en dehors de tout contact granitique. Le granite de Kagenfels affloure 7 kms plus à l'Est ; et bien qu'il forme une bande dont la direction passe à peu près sous le gisement de Grandfontaine, on ignore où se trouve ce granite en profondeur ; tout au plus décele-t-on ça et là des manifestations pneumatolytiques ("greisen") dans les tufs kératophyriques, ou un développement plus intense de biotite ou de hornblende dans les laves, ce qui suggère une proximité relative du granite. (dans la zone Mine rouge - Mine du Curé, par exemple).

L'épaisseur des skarns minéralisés, entre tufs (ou grauwackes) au mur et dolomie (ou calcaire) au toit, varie de quelques mètres à 12 mètres. Elle est plus grande sur le flanc nord (quartier des Minières) que sur le flanc sud de l'anticlinal (Mine rouge, Mine jaune, Mine grise).

Dans le sens longitudinal, ces skarns sont lenticulaires, comme d'ailleurs les dolomies ou les calcaires qui les surmontent. Le plus beau panneau reconnu va de l'extrémité sud-ouest des travaux B.R.G.M. à la bordure est du massif pyriteux des Minières, soit 150 m de long (pour 12 m de puissance maxime). La terminaison sud-ouest de cette lentille est bien visible au bout du tracé B.R.G.M. : le skarn se réduit à 50 cm de formation chloritisée et silicifiée entre une brèche dolomitique, imprégnée d'oligiste et pyrite, au toit, et les tufs kératophyriques du mur ; des glissements banc sur banc soulignent le contact. Lors de son plein développement, le skarn exploré par les travaux B.R.G.M. mesure 12 m de puissance ; c'est essentiellement une grenatite, presque toujours profondément chloritisée et silicifiée par action hydrothermale tardive. La partie située immédiatement au contact de la dolomie du toit est habituellement moins altérée ; elle est aussi particulièrement pauvre en scheelite.

Rappelons enfin, que certains niveaux d'andésite, intercalés dans les kératophyres et tufs kératophyriques du mur, ont été transformés localement en "pseudo-skarn" qui se caractérisent pour nous par l'absence constante de grenat et de pyroxène ferrifère, même sous forme de reliques, et par la présence éventuelle de plagioclases résiduels, en microlites ou en phénocristaux.

Les skarns de Grandfontaine ont été, en général, profondément modifiés par une activité hydrothermale tardive qui rend pratiquement impossible l'identification des minéraux préexistants ; sur les échantillons frais, recueillis par nous dans les travaux du B.R.G.M., deux sur trois sont méconnaissables, transformés en une association d'hématite lamellaire, de dolomie, de chlorite et de quartz, dans laquelle on peut reconnaître seulement les fantômes des pyroxènes ouralitisés (dont les clivages ont orienté le dépôt de l'hématite). Ces skarns profondément altérés existent à tous les niveaux ; le sondage S 6 les a retrouvés jusqu'à 97 m de profondeur, soit 55 m plus bas que le niveau des travaux B.R.G.M. Ils sont généralement très pyriteux, et peuvent être minéralisés en scheelite et en fluorine tout comme les skarns non modifiés. L'étude de leur répartition dans les travaux B.R.G.M. montrent qu'ils sont toujours intimement associés aux skarns non ou peu modifiés : le degré de transformation varie sur quelques centimètres, le plus souvent à la faveur d'une fracture, et il est impossible de délimiter des zones de skarns altérés et des zones de skarns sains.

Parmi les échantillons sains que nous avons recueillis, on peut distinguer deux types de roche (1) :

- Les skarns à hédénbergite et grenat
- Les skarns à grenat dominant .

(1) Nous remercions vivement G. Guitard qui a bien voulu examiner pour nous toute une série de skarns de Grandfontaine (Rapport A 1587 du 2/3/60)

- 1 - LES SKARNS A HEDENBERGITE ET GRENAT semblent n'exister que sur le flanc nord de l'anticlinal de Grandfontaine, dans le quartier des Minières.

L'hedenbergite, en plages idiomorphes (0,5 à 1 mm) enchevêtrées, est au moins partiellement ouralitisée : à cette ouralitisation se superpose localement un premier remplacement par la dolomie ou la calcite associée à de l'hématite lamellaire (qui souligne les clivages de l'ouralite antérieure) ; ce premier remplacement est lui-même suivi d'un second remplacement, par le quartz en agrégat grossier (1 mm) ; parfois c'est un mica blanc (phlogopite), associé au quartz, qui succède à l'ouralite, mais le fait est assez exceptionnel.

Le grenat, en gros cristaux (1 - 2 mm) maclés, nettement anisotropes (type pyrénéite), est moins fragile que l'hedenbergite. Il peut néanmoins subir diverses transformations, dont la plus fréquente aboutit, par le développement d'épidote en plages automorphes associées au quartz et se surimposant aux plages de grenat, à l'apparition d'une roche nouvelle, à hedenbergite ouralitisée, et épidote que les anciens appelaient pyroxénite. Parfois le grenat est remplacé périphériquement par la calcite, associée au quartz ; ailleurs par une chlorite de type pennine (chlorite presque uniaxe, $n_m = 1,58$ à $1,60$).

Un autre constituant primitif du skarn est la scheelite, en plages xénomorphes (0,5 à 1 mm), qui ont généralement bien résisté à la corrosion par le quartz, la calcite ; cependant G. Guitard (1960) a observé un cas de remplacement quasi-total de la scheelite par la pyrite.

L'apatite, assez fréquente, en petits prismes séparés (0,01 à 0,5 mm) ou groupés en nids, est probablement tardive (Guitard, 1960), car elle est particulièrement abondante dans les échantillons où les phénomènes de remplacement sont les plus développés.

L'orthose, tardive aussi, forme avec le quartz et l'épidote, des veines et des agrégats, qui injectent et remplacent le skarn.

Sphène, biotite verte et actinote apparaissent dans les skarns de la même façon que dans les tufs précédemment décrits ; mais il y sont toujours en très faible quantité, et semblent particulièrement abondants près du mur, c'est-à-dire au voisinage des tufs.

2 - LES SKARNS A GRENAT SEUL

Ce faciès est lié, sur le flanc nord de l'anticlinal de Grand-Fontaine, au voisinage des dolomies du toit ; par contre sur le flanc sud, où les skarns ne dépassent pas quelques mètres de puissance, il semble en constituer la totalité.

Lorsqu'elle est fraîche, la roche se présente au microscope comme un agrégat de gros grenats brun-pâle (0,5 à 3 mm), à inclusions éparées (0,05 à 0,1 mm) de quartz, calcite, épidote, parfois apatite. Il s'agit de grenats calciques et ferrières, intermédiaires entre grossulaire et andradite, et présentant toujours une franche anisotropie (1).

Décrit par Lacroix (1893), le grenat optiquement anormal de Framont appartient au type pyrénéite, mais avec un écartement des axes optiques (autour de la bissectrice aigue positive) beaucoup plus grand ($2V = 20^\circ$ au lieu de 56°). La composition chimique approchée du grenat a été déterminée par des mesures de densité et d'indice de réfraction ; les résultats obtenus sur trois échantillons de provenance différente varient de 70 % grossulaire + 30 % andradite (Minières) à 30 % grossulaire + 70 % andradite (Mine Jaune et Evêché).

(1) Cette anisotropie fréquente dans les formations de ce type, correspond au fait que le cristal de grenat, d'apparence cubique, est un assemblage d'individus dont chacun a une symétrie orthorhombique.

Ces grenats sont souvent fracturés, les fractures étant remplies de quartz avec chlorite et calcite. Leur transformation la plus courante est un remplacement par la chlorite, (clinochlore) ou la calcite, puis le quartz, avec formation d'un peu d'hématite. Dans certains cas, le grenat est entièrement pseudomorphosé en chlorite, disposée normalement aux faces du cristal.

Les interstices entre grenats sont remplis de calcite, hématite et quartz. Parfois un peu d'ouralite suggère la présence antérieure de petits pyroxènes. La biotite verte est rare. L'orthose, associée au quartz et à la pyrite peut injecter localement la roche. La scheelite, généralement fine, est relativement moins abondante que dans les skarns à hedenbergite (1).

C - TERRES FRANCHEMENT SEDIMENTAIRES

1 - GRAUWACKES, SCHISTES ET BRECHES ASSOCIEES.

Comme nous l'avons signalé, il existe localement un ruban lenticulaire de grauwacke de 2 à 3 m. d'épaisseur au mur des skarns, entre eux et les tufs kératophyriques sous-jacents ; c'est le cas en particulier aux Minières (galerie des Minières et travaux B.R.G.M.) et à la Mine des Engins.

La roche, à grain très fin et de couleur gris noir, se confond sur le terrain avec un tuf basique. Mais l'étude microscopique y montre la présence d'éléments détritiques : anguleux, non classés et empruntés aux roches volcaniques : fragments (1 - 2 mm) d'andésite, de kératophyre altéré, menus débris (0,05 mm) de feldspath, de quartz, d'apatite, dans une matrice essentiellement formée d'illite, où se développent de petites lamelles de biotite, éparses ou groupées en nids, et quelques cristaux de pyrite.

(1) Les travaux B.R.G.M., qui suivent le contact des skarns et de la dolomie du toit montrent un net appauvrissement en scheelite dans les 50 cm de grenatite les plus proches de la dolomie.

Ce mince niveau lenticulaire de grauwaacke est une sorte de précurseur du type de sédiment qui dominera après le dépôt des dolomies du toit. Il s'agit de schistes gris-vert, assez fins, parfois rubanés et comportant des lentilles de brèche intraformationnelle à éléments anguleux de grauwaacke ou de dolomie. Ces brèches mesurent 50 cm à 1 m d'épaisseur et la taille de leurs éléments varie de quelques cm. à 20 cm.

Sur le flanc nord de la structure de Grandfontaine, ces schistes à niveaux de brèches ont été recoupés par les sondages (S 6) par la galerie de la Chapelle (près de l'entrée) et par la galerie des Minières (extrémité nord) (1).

On les connaît aussi en affleurement, encadrant la grosse lentille dolomitique située 300 m. à l'W du gisement. Sur le flanc sud de la structure, et dessinant une sorte de synclinal probablement faillé, ils apparaissent au toit des Mines Rouge, Jaune, Grise, et à la Mine Noire où ils encadrent aussi des lentilles calcaires ; enfin la Mine de Metzger semble toute entière incluse dans ces formations schisteuses sombres qui correspondent peut-être au "brand" des anciens mineurs. (2)

(1) Cette dernière montre ces schistes butant contre une faille à injections de barytine, au N de laquelle on retrouve les formations du mur (tufs kératophyriques et andésites) ; c'est la faille bordière nord du graben de Grandfontaine.

(2) Le terme "brand" était utilisé initialement par les mineurs allemands pour désigner des micro-brèches de friction à matrice argileuse, remplissant des fractures serrées, et dans lesquelles on trouvait souvent du minerai écrasé. Par la suite, il a été étendu à toute formation tendre, argileuse, de teinte rougeâtre ou brunâtre (communication orale du Professeur Leutwein).

Au microscope, ces schistes montrent de fines passées plus grossières, à éléments de kératophyre (0,2   7 mm), de feldspath et de quartz (0,1   0,4 mm). La roche dominante est finement litée, avec de menus fragments (0,01   0,1 mm) de quartz, de feldspath, parfois de muscovite, dans une matrice abondante et très fine (0,005 mm), essentiellement formée d'illite (1) et dans laquelle se développent soit la séricite en liaison avec des microfissures, soit la biotite verte en fines lamelles éparses, soit même parfois des aiguilles d'andalousite (galerie de la Chapelle). Ainsi, le métamorphisme de contact est aussi visible dans ces grauwackes que dans les formations précédentes.

Les brèches intercalées dans les grauwackes sont manifestement dues   un démantèlement de ces derniers en cours d  sédimentation, et non   un apport de matériel détritique neuf ; elles traduisent l'instabilité du fond marin où s'accumulaient les grauwackes. Par ailleurs, il faut souligner que ces brèches comportent souvent des éléments d'hématite (mêlée de calcite) cimentant de menus débris de quartz ou de grauwacke, ce qui suggère l'existence d'un dépôt d'oxydes de fer antérieur   la formation de la brèche (2). Le ciment de la brèche est essentiellement formée de dolomie (0,5   1 mm), avec un peu de quartz et d'hématite de remaniement.

2 - DOLOMIES ET CALCAIRES

Les dolomies interstratifiées dans les grauwackes et au toit des skarns ont une puissance de l'ordre de 1   8 m, rarement plus. C'est dans le niveau dolomitique principal, situé au toit même des skarns, bien connu sur le flanc nord de l'anticlinal (La Chapelle, compartiment des sondages aux Minières) et signalé sur le flanc sud (aux Mines Grises et Jaune) qu'apparaissent les amas d'hématite qui ont fait l'objet des exploitations anciennes ; ces amas,

-
- (1) Notons la présence de calcite dans certains lits. Par ailleurs, on constate souvent le développement de chlorite, en particulier dans les zones tectonisées.
- (2) Il existerait ainsi un dépôt de fer syngénétique contemporain des grauwackes en liaison probable avec le volcanisme kératophyrique qui les précède immédiatement.

de 1 à 5 m , parfois 30 m de puissance, ont été reconnus sur 130 à 140 m de long au maximum. Ce niveau dolomitique, plus ou moins ferruginisé et bréchifié (sondage S 6 bis) passe latéralement (fin du traçage P.R.C.N.) et en profondeur (S 8) à des brèches dolomitiques. Enfin, plus haut dans les schistes du toit, il peut apparaître de petites lentilles dolomitiques dont la puissance est de l'ordre du mètre (S 8).

La dolomie saine est blonde, très homogène. Il s'agit toujours d'une dolomie pure, assez fine (0,2 à 0,5 mm), renfermant parfois un peu de quartz détritique. Dans les dolomies proches des skarns, le métamorphisme se traduit localement par l'apparition de lamelles de phlogopite (0,1 mm) soulignant certains lits, et l'activité hydrothermale connexe par l'apparition de quartz fin, de calcédoine, de pyrite et parfois de scheelite, autour de minces fissures.

Alors qu'à l'W du gisement les dolomies subsistent et deviennent même plus puissantes (massif dolomitique affleurant 500 m à l'W des Minières), elles semblent passer vers le sud (Ligne Grise (1) ; "chambres de castine" des Mines Jaune et Noire) à des calcaires impurs. Ce passage aux calcaires affecte d'abord la partie supérieure des dolomies. Plus loin vers l'Est, à la ligne de l'Avéché, par exemple, il n'existe plus que des calcaires saccharoïdes ("carrière de marbre"), lesquels surmontent aussi un skarn (grenatite) et se sont prêtés à la mise en place d'un banc d'hématite. L'examen microscopique du calcaire y montre l'existence de passées argilo-détritiques sombres (avec grains de feldspath et de quartz de 0,05 à 0,1 mm), auxquelles est lié un développement de biotite verte (0,1 mm) ; parfois apparaissent quelques grenats et un peu de sphène. Le grain de la calcite est très régulier (0,2 à 0,4 mm).

(1) Gris de calcaires à l'Estroques dans les déblais de la galerie supérieure de la ligne Grise.

Enfin, 1 km à l'E de la Mine de l'Evêché, à Wackenbach, une carrière est ouverte dans un calcaire rougeâtre de faciès tout à fait comparable au "griotte" des Pyrénées (1) ; ce calcaire bréchoïde, ayant manifestement subi des influences volcaniques, est interstratifié dans une série de tufs kératophyriques, mais il nous est impossible de préciser s'il se rattache au même épisode sédimentaire que le calcaire de l'Evêché et les dolomies de Grandfontaine.

(1) Ce calcaire, qui rappelle beaucoup les griottes manganésifères du Dévonien supérieur de l'Ariège, est daté du Givétien (Jaechel, 1886) près de Schirmeck, il est peut-être en liaison avec les indices de Mn stratiformes signalés à Wat près de Wisches.

III - LES GRANITES ET LEUR CORTEGE FILONIE

Selon J. Jung (1927) les granites de la région sont tous d'âge hercynien ; ils métamorphisent le Dévonien et le Tournaisien, mais ce métamorphisme n'atteindrait pas le Viséen. Des mesures d'âge faites sur deux d'entre eux ont cependant donné (Hée et alt, 1957) :

- Pour le granite de Natzwiler 310 $\pm$ 20 m. a (Namurien)
- Pour le granite d'Andlau 240 $\pm$ 25 m. a (Permien sup.)

Ces granites forment une grande batholite pénétrée par plusieurs intrusions de compositions différentes, (figures 1 et 2). Une description détaillée en a été donnée jadis par H. Bloking (1920). Nous nous bornerons à décrire brièvement les types principaux.

1 - BATHOLITE DU HOCHFELD OU DU CHAMP DU FEU

C'est le type le plus ancien ; il constitue un important massif sur la rive droite de la Bruche (18 Km EN et 15 Km NS). La roche dominante est un granite à biotite de grain assez uniforme.

Un échantillon prélevé près de Rothau sur la route du Struthof montre un grain de 1 à 2 mm, avec plagioclases automorphes et zones (oligoclase à 10 % An en moyenne), orthose perthitisée et quartz ; on note de fréquentes associations graphiques quartz-orthose, et le développement de myrmérite au contact orthose-plagioclase ; la biotite est abondante, peu altérée, accompagnée souvent d'apatite (en inclusions de 0,05 mm) et de sphène.

Un échantillon prélevé au Struthof est de grain plus grossier (4 - 5 mm), mais la roche est la même, avec plagioclases automorphes, orthose perthitisée, quartz interstitiel à micropegmatite, biotite, apatite, zircon et sphène. Des veines aplitiques la recoupent, montrant au microscope quelques cristaux, relativement gros (1 mm), d'oligoclase et de quartz, noyées dans un agrégat fin (0,1 à 0,2 mm) de quartz, orthose perthitisée, oligoclase, biotite rare (chloritisée) et apatite très disséminée. Hickling (p. 285) donne 4 analyses de ce granite.

Il existe dans ce massif granitique des zones d'endomorphisme caractérisées par la présence de hornblende et le passage local aux diorites. Ce sont : d'une part, le granite de Hohwald (Hickling, p. 285), d'autre part le granite de Serva (id. p. 290) que nous n'avons visités ni l'un ni l'autre. Ce dernier est un faciès normal, mais à enclaves diocritiques, qui affleure largement dans la partie nord-ouest du massif, et qui correspond sans doute à la zone du batholite granitique la plus proche du toit.

2 - GRANITE PORPHYROÏDE DE NATZWILER ET FILONS DE MICROGRANITE ASSOCIÉS.

Ce granite forme dans le massif du Champ du Feu, une intrusion couchée de 3 Km sur 2, qui a fait l'objet d'une étude détaillée de J.P. Von Eller (1959). C'est un granite porphyroïde à grands cristaux de feldspaths (1—2 cm), rose (orthose perthitisée) ou gris vert (oligoclase), et à cristaux plus petits (1, 2 cm), de biotite, sur un fond finement grenu (0,5 mm) et non orienté de quartz, orthose, oligoclase, et biotite, avec un peu d'apatite. Sur les bords de l'intrusion, la roche passe à un microgranite, rose violacé, puis à une rhyolite (Von Eller, 1959). L'âge absolu du granite de Natzwiler a été trouvé égal à 310 ± 20 millions d'années (Hébert et al., 1955), chiffre confirmé par des mesures non publiées de H. Paul (in Von Eller, 1959), et qui correspond approximativement au Namurien.

Aux alentours du granite de Matsviller, J.P. Von Eller a cartographié plusieurs apophyses filoniennes de microgranite à pâte granophyrique. Les dykes, d'orientation générale nord-est, qui accompagnent les filons ferrifères de Rothau, sont constitués de la même roche, toujours intrusive dans le granite du Champ du Feu.

On peut encore rattacher à ce système le filon de microgranite, d'orientation N 30 ° W et de 10 à 20 m. de puissance, qui traverse le massif dolomitique des Minières et se prolonge vers le Sud-Est à travers le Dévonien-Dinantien sur plus de 5 km ; des phénocristaux (1 à 3 mm) d'orthose, d'oligoclase, biotite, et parfois de quartz corrodé y sont éparés sur un fond quartz-feldspathique à structure granophyrique rayonnante (buissons de 0,2 à 0,4 mm).

3 - GRANITE DU KAGENFELS

C'est aussi un granite intrusif dans le massif du Champ du Feu, suivant une bande est-ouest, d'allure filonienne (1 km de large, 10 à 15 km de long), et dont l'extrémité orientale, étudiée par J.P. Von Eller (1960), montre le passage du faciès grenu à un faciès microgrenu, puis à une roche franchement rhyolitique, (à pâte granophyrique), située au contact du granite encaissant.

Le granite du Kagenfels constitue en particulier l'affleurement ruiniforme des Roches Blanches 1 km au N.E. de Rothau. C'est un granite leucocrate à muscovite, à grain régulier (2 - 3 mm), et à tendance microlitique. Au microscope, le feldspath dominant est du type microcline ; le plagioclase, proche de l'albite, n'est ni automorphe, ni zoné ; le quartz est en plages trapues à tendance automorphe ; le mica dominant est la muscovite, accompagnée (d'après Hocking) de lithionite ; la biotite est peu abondante ; la fluorine est fréquente.

Hocking décrit dans le granite du Kagenfels des veines pegmatitiques et pneumatolytiques (à quartz, orthose, beryl, fluorine et molybdénite) qui injectent aussi le granite du Champ du Feu, et semblent en relation avec les

filons ferrifères de la région de Rothau (1). Nous reviendrons sur cette question à propos de l'origine de la minéralisation de Framont.

Le granite du Kagenfels est le plus tardif des granites hercyniens de notre secteur. Il est considéré par J.P. Von Eller comme post-westphalien, à la suite de mesures d'âge faites au laboratoire de géologie de Strasbourg (in François, 1962, p. 7) ; cet auteur suggère même (Von Eller, 1960) une relation entre le développement subvolcanique de ce granite et le volcanisme permien du Hildesheim (rhyolites et ignimbrites).

On doit souligner par ailleurs la ressemblance qui existe du point de vue pétrographique et âge de mise en place, entre le granite du Kagenfels et celui de Bacon l'Étape (Nicolas, 1961), en relation lui aussi avec une minéralisation à scheelite.

Ajoutons que la température de formation du granite du Kagenfels, calculée par J.P. Von Eller (1959) suivant la méthode de Barth, se situe autour de $780^{\circ} \pm 50^{\circ}$, alors que pour le granite de Natzwiler, elle serait de $610^{\circ} \pm 50^{\circ}$.

4 - FILONS DE LAMPROPHYRE (minette).

En relation probable avec une de ces venues granitiques de nombreux dykes de minette, souvent discontinus, lardant le granite du Champ du Feu près de Rothau, et les formations dévono-dinantiennes du massif de la Bruche.

Dans les travaux des Minières, on peut voir deux de ces filons à une centaine de mètres d'intervalle : l'un affleure, pincée contre une faille, sur la bordure nord de l'excavation ancienne ; l'autre forme dans le tracé B.R.C.M. (cote 529), au 65ème mètre et coïncidant avec la "faille des Thomas", un dyke subvertical de minette à hornblende, de direction nord-ouest et de 2 m. de puissance

(1) Ces filons, minéralisés en pyrite, oligiste, magnétite martitisée, ont une gangue de quartz avec tourmaline, fluorine et adulaire (Wail, 1936).

La roche, à grain assez fin (0,2 à 0,5 mm), comporte des sortes de vacuoles sphériques (1 à 2 mm), remplies d'orthose rose, en gerbes rayonnant à partir d'un bord ; le fond de la roche est un agrégat de feldspath altéré à orthose dominante, de hornblende et de biotite en proportions comparables avec apatite et sphène. Elle se rattacherait donc au type vogésite, plutôt qu'au type minette proprement dit. (1).

A Wackenbach, un filon méridien de minette recoupe le calcaire dévonien à faciès griotte. Près de Rothau, les dykes de minette intrusifs dans le granite sont souvent cotoyés par les filons ferrifères, et imprégnés par la phase précoce de la minéralisation (tourmaline, magnétite et quartz ; cf. Miller, 1905).

(1) Le type minette se distingue du type vogésite par une nette prédominance de biotite.

CHAPITRE SECOND

MINERALISATION

I - G E N E R A L I T E S

Les gisements ferrifères exploités du massif de la Bruche peuvent être groupés en deux catégories :

- D'une part, des gîtes filoniens (Figure 2) encaissés principalement dans le granite du Champ du Feu (Bannwald et Rothau), et quelquefois dans la série dévono-dinantienne de bordure (Noire-Maison, Bas Donon, etc...) :

- D'autre part, des gîtes stratiformes du type skarn (Figure 3) alignés en chapelet dans un horizon déterminé de cette même série. C'est ce deuxième groupe le plus important, où le tungstène s'associe au fer, que nous allons examiner plus particulièrement.

Après un rappel historique général, nous décrirons successivement les principales zones minéralisées stratiformes :

- Au Nord, la Chapelle et les Minières
- Au Sud, l'alignement Mine Grise, Mine Jaune, Mine du Curé et les Mines Noire et de Metzger.
- A l'Est, la Mine de l'Evêché.

et nous terminerons par quelques indications sur les gîtes filoniens.

HISTORIQUE GENERAL

Les premiers textes faisant allusion aux mines de fer de Framont ("ferratus mons") remonteraient aux 12^e et 13^e siècle : d'après un titre latin de l'Eglise de Saint-Dié, de l'an 1172, la découverte daterait de cette époque et l'installation des forges du milieu du siècle suivant (Dom Calmet, 1748 et 1756) ; jusqu'à la Révolution, les mines de Framont restèrent en possession de la maison de Salm, et les seuls chiffres précis qui nous restent sur cette longue période sont les redevances perçues par l'Abbaye de Sénones ("deux milliers (de livres ?) de fer en bandes"), et leur quote-part dans les revenus du Prince de Salm de 1753 jusqu'en 1780 (17.500 livres) (Gravier, 1836).

Les mines de l'Evêché, dont il n'est fait mention qu'au 17^e siècle appartenaient à l'Evêque de Strasbourg (lettres patentes de 1682). Quant aux mines de Rothau, leur existence remonte au moins au 16^e siècle (lettre de l'Empereur Ferdinand, datée de Mai 1558), et elles alimentaient les forges de Rothau pour le compte des seigneurs du Ban de la Roche.

Pendant la Révolution, et après diverses vicissitudes, la propriété de l'ensemble des mines passa à la famille Champy jusqu'en 1834, date à laquelle fut constituée la Société Anonyme des Forges de Framont qui poursuivit les travaux pendant une trentaine d'années encore jusqu'à l'arrêt de la dernière exploitation (Les Minières) en 1866.

Avant 1820, les seules données précises que nous ayons sur l'extension des travaux figurent dans un procès-verbal d'estimation du 11 Messidor, an IV (29 Juin 1796) : la profondeur atteinte aurait été à cette époque d'une quarantaine de mètres aux Minières, d'une soixantaine de mètres aux Mines Noire et Grise, et d'une dizaine de mètres à la Mine Rouge.

A partir de 1820, par contre, nous disposons de documents précis et réguliers avec les procès-verbaux de visite annuels du Service des Mines (Archives départementales d'Epinal).

Le détail des travaux sera indiqué plus loin pour chaque mine ; durant cette période d'une quarantaine d'années, la production totale du district s'est élevée à une centaine de milliers de tonnes de minerais, dont 90 % pour les gîtes stratiformes de Framont (55 % au seul gisement des Minières) et 10 % pour les gîtes filoniens. Si l'on admet une production du même ordre au cours des siècles précédents, ce qui semble une approximation raisonnable, compte-tenu de l'extension des travaux, on se rend compte qu'il s'agissait , à l'échelle moderne, de petits gisements.

Par la suite, signalons diverses tentatives de reprise, surtout aux Minières, à l'Evêché et à la Mine Jaune en 1873, 1915 et 1938-43 (dénoyage du puits de l'Engin, relevage des galeries de la Chapelle et de l'Evêché, traçage de la galerie du Curé), avec une exploitation limitée à la lentille pyriteuse des Minières en 1939 (production: quelques milliers de tonnes de pyrite).

Au cours de ces dernières années, et en raison de la présence du tungstène signalée dans les textes, le B.R.G.M. a procédé à une étude géologique et géophysique du district, puis à une campagne de sondages et à des travaux miniers dans la vallée des Minières.

II - LA ZONE MINERALISEE DU NORD :

LE QUARTIER DES MINIERES

Nous désignerons sous ce nom la zone minéralisée qui occupe le flanc nord de l'anticlinal de Grandfontaine , sur le ruisseau des Minières, immédiatement en aval du village du même nom (Figures 5, 6 et 9).

HISTORIQUE DES TRAVAUX

GITE PRINCIPAL (dit des Minières s.s.)

Exploité probablement des origines (12^e ou 13^e siècle) à la fin du 18^e siècle, depuis l'affleurement (cote 575) jusqu'au 1^{er} niveau (cote 508), dit aussi "sole des Anciens", il comporte des travaux à ciel ouvert, divers puits, et une galerie d'écoulement (cote 550) dont la partie moyenne seulement est visible actuellement, au-dessus de la galerie nouvelle. Nous n'avons aucune donnée précise ni sur ces travaux, ni sur le tonnage extrait (1).

A partir de 1819, on assiste apparemment dans la région à une recrudescence d'activité, sanctionnée par des procès-verbaux annuels relativement explicites, et qui est marquée successivement par :

(1) Si ce n'est qu'en 1796, la profondeur atteinte par l'exploitation aurait été d'une quarantaine de mètres.

- Le tracage de la nouvelle galerie d'écoulement (cote 548), encore utilisable actuellement.
- Le fonçage de deux puits principaux d'extraction (puits de l'Engin de 114 m, et puits du Percement de 96 m de profondeur) et de divers puits secondaires, à partir desquels sont tracés 3 niveaux inférieurs (cotes 491, 473 et 458), puis un dernier bure de 15 m atteignant donc la cote extrême 443, avec un dernier niveau, à la cote 448.

De 1851 à 1857, l'épuisement progressif de la mine de fer amène les exploitants à s'intéresser à l'amas pyriteux oriental, reconnu de la cote 465 environ jusqu'au fond des travaux, mais avec une réduction progressive, là aussi, de la surface minéralisée exploitable.

Enfin, après diverses recherches infructueuses aux différents niveaux, et la reprise de quelques dépilages, la mine est arrêtée en 1866 avec les résultats suivant pour la période 1825 - 1865 :

- 55.000 tonnes environ de minerai de fer (donnant 33 à 34 % de fonte.
(production annuelle maximale = 3.100 T. en 1843)
- 7.000 tonnes environ de pyrites.

D'après ces chiffres, on peut apprécier raisonnablement le tonnage total du gisement à une centaine de milliers de tonnes. En 1869, on considérait que les réserves, épuisées pour le fer, étaient de quelques 16.000 tonnes pour la pyrite.

Par la suite, on peut signaler diverses tentatives de reprise en 1873, 1915, 1938-1943 (durant cette dernière période, quelque milliers de tonnes de pyrite auraient été extraits).

GITE OCCIDENTAL (dit de "La Chapelle")

Ce ou ces amas situés dans le prolongement ouest des Minières, et visibles actuellement dans la galerie de la Chapelle à une cinquantaine de mètres de l'entrée, semblent correspondre, au moins en partie à l'ancienne "mine des Thomas", "épuisée et abandonnée vers 1770".

Une reprise de cette zone semble avoir été effectuée au cours de la première moitié du 19^e siècle, à partir des niveaux des Minières ("Galerie de la Fontaine") et de la Chapelle, au moyen de bures foncés dans le minerai, et d'un puits au jour encore discernable actuellement sur le terrain (puits des Thomas ?). La production n'est pas connue, mais doit être minime.

LES TRAVAUX DU B.R.G.M., axés sur la présence du tungstène, sous forme de scheelite (découverte en 1853), et responsable sans doute de la grande réputation, au XIX^e siècle, des "aciers de Franmont" sur le marché européen, ont étudié principalement la zone intermédiaire, vierge ou inconnue, située entre l'entrée de la galerie de la Chapelle et le puits de l'Engin, aux Minières :

1953 étude géologique préliminaire et prospection électromagnétique.

1957 réouverture et échantillonnage d'anciens travaux ;

1958 campagne de sondages démontrant l'extension du magasin de tactites, connu dans la mine, et la présence d'une zone minéralisée à forte teneur en W O 3.

1961 travaux miniers comportant le fonçage d'un puits de 40 m, avec travers-bancs et tracage au niveau 36 (cote 529) soit 212 m. de galerie, avec double échantillonnage systématique (260 échantillons au total).

Ce dernier contrôle par travaux miniers a abouti à des résultats négatifs :

- D'une part, légère réduction du tonnage prévu, tant en raison de l'extension insoupçonnées des dépilages anciens, que de l'allure lenticulaire de la formation.
- D'autre part, et surtout, baisse brutale de la teneur moyenne escomptée (0,2 % W O 3 seulement).

Ces résultats ne laissant pas espérer de possibilités économiques, la recherche a été arrêtée et le problème considéré comme classé.

EXAMEN DU GISEMENT

L'ensemble des travaux des Minières (Figures 5, 6 et 9) s'étend sur 150 m. de longueur en direction nord-est, et sur 140 m. de profondeur, depuis la carrière (cote 575) jusqu'au fond d'un petit bure en dessous du 5° niveau (cote 433).

Dans la carrière, on ne voit plus aucune minéralisation sinon quelques résidus de pyrite au sein d'une zone hématisée de 2 à 3 m. de puissance ; la paroi nord de l'excavation montre les grauwackes, imprégnés d'hématite, redressés verticalement contre la faille bordière nord du gisement. La minéralisation, d'après Muller (1905) comportait essentiellement de l'hématite (oligiste), avec un peu de malachite, chrysocolle et même cuivre natif ; plus tard on compléta la liste des minéraux d'oxydation : chalcantinite, chesylite, copiapite, mélaconite, mélantérite, (Weil et Jarovoy, 1850), langite (Pierrot et Sainfeld, 1958)

Les minéraux de gangue signalés par les anciens (Carrière, IB49) sont la calcite, l'ankérite, la sidérite, la barytine, la fluorine et le quartz ; à cette liste, Weil et Jarovay (1950) ont ajouté l'aragonite, le gypse, l'hallowaysite, l'alunite, l'allophane et l'opale dans la zone d'oxydation.

Selon Muller, l'amas exploité, de 60 à 80 m. de puissance, était dirigé E.N.E. avec un pendage de 60 à 70° N; le contours très irréguliers; il était divisé en deux parties, la grosse masse et la petite masse, par une intercalation de "pyroxénite" (skarn) stérile atteignant 10 m. de puissance. Au mur se trouvaient les "porphyres" (kératophyres), au toit les "schistes" (grauwackes). Latéralement, le minerai passait à une brèche de "porphyre" ; il était d'ailleurs fréquent de trouver dans le minerai lui-même des blocs rocheux (skarn ou kératophyre ?) traversés de veines minéralisées.

A - TRAVAUX ANCIENS (Figure 5)

Les principaux niveaux tracés par les anciens dans le quartier des Minières sont les suivants, de haut en bas :

COTE 575 : LA GALERIE DE LA CHAPELLE, dont la première partie, de direction sud, traverse (à 40 m de l'entrée) l'extrémité du gisement des Minières (dit ici "gîte des "Thomas" ou des "nouveaux travaux de la Chapelle"), mais dont l'objet était d'atteindre le gisement du flanc sud à l'aplomb de la Mine Grise. Le gisement des Minières se réduit dans cette galerie à 2 mètres d'hématite remplaçant irrégulièrement le toit d'une lentille dolomitique de 10 m de puissance, creusée de nombreuses cavités de dissolution. On est encore en pleine zone d'oxydation.

COTE 550 : LA GALERIE DES MINIERES, ancienne voie d'accès, d'exhaure et d'extraction des travaux des Minières, entre obliquement dans les kératophyres et tufs kératophyriques du mur et atteint les skarns à 100 m. Le niveau des Minières, qui est actuellement le plus étendu et le mieux connu, donne de précieux renseignements sur la pétrographie et la structure du gisement. En ce qui concerne la minéralisation, il permet de bien voir la tête du massif pyriteux qui se poursuit en se rétrécissant jusqu'au 5^e niveau (cote 448). Ici, la zone pyriteuse, exploitée en 1853 sous le nom de "Chambre Chaude", mesure 30 m. (dans le sens nord-nord-est) sur 20 m. (dans le sens nord-ouest). A son mur immédiat se trouvent des skarns fortement silicifiés, à grenat pyrénéite, ouralite, chlorite et actinote, imprégnés de pyrite et de scheelite en mouches atteignant localement 1 cm. La pyrite, la scheelite et le quartz se retrouvent d'ailleurs en minces veinules dans les kératophyres situés plus au mur encore ; parfois pyrite et scheelite, en mouches minuscules, ont diffusé en plein kératophyre ; cette large dissémination de la pyrite et de la scheelite dans la série volcanique du mur est un phénomène général pour toutes les zones minéralisées de Grand-fontaine et de l'Evêché.

L'étude en section polie des skarns à pyrite et scheelite montre l'existence de rares inclusions de pyrrhotite résiduelle et de chalcopyrite dans la pyrite ; par ailleurs, on note la présence de magnétite (1 mm), zonée et largement martitisée, et d'un peu de molybdénite très fine.

La scheelite elle-même renferme localement un grand nombre de minces lamelles (0,01 mm) de wolfram, orientées suivant trois directions principales, et quelques minuscules plages éparées d'oligiste ; cette association orientée scheelite-wolfram correspond semble-t-il à une syncristallisation des deux minéraux. Scheelite, magnétite et pyrite ont été ensuite fracturées et recimentées par un dépôt de quartz, suivi d'un carbonate ferrifère, avec chalcopyrite tardive.

A l'W du "massif pyriteux" se trouve la zone à hématite et oligiste, exploitée jadis par le puits du Percement et actuellement inaccessible.

COTE 530 : LE HORNSTATT VINCENT, ancienne "place d'accrochage" de l'exploitation d'hématite située plus à l'Ouest, reprise pour l'exploitation de la pyrite en 1853. Le massif pyriteux a ici une section de 12 m sur 12.

Ce niveau nous a été accessible par le puits de l'Engin. On peut voir à l'W du puits les tufs kératophyriques du mur, présentant un joli développement de biotite fraîche (0,1 mm). Le reste de la partie accessible, c'est-à-dire le voisinage du massif pyriteux, montre des skarns silicifiés et verdis, largement imprégnés de pyrite.

On constate au microscope qu'une partie de cette pyrite, associée à un peu de marcasite, et comportant des inclusions de chalcoppyrite, est une pyrite secondaire provenant de la transformation d'ancienne pyrrhotite ; elle présente la structure dite en "oeil de perdrix" (photo 3). Et cette pyrite secondaire, facilement altérable, se distingue facilement de la pyrite primaire, en petits cubes inaltérés (0,10 à 0,50 mm). La magnétite est rare, toujours largement hématisée. La pyrite primaire elle-même est souvent fracturée, et injectée par l'oligiste qui la suit immédiatement, accompagné d'un peu de quartz et de carbonate. A vrai dire le dépôt d'oligiste succède presque sans interruption à celui de pyrite et tout se passe comme si, le potentiel d'oxydation ayant subitement augmenté, le fer s'était mis à se déposer sous forme d'oxydes et non plus de pyrite.

On aurait donc, schématiquement d'après ce que nous avons vu jusqu'ici, deux phases de minéralisation :

- Une première phase avec pyrrhotite, magnétite, et chalcoppyrite, succédant probablement à la formation de la scheelite.
- Une deuxième phase au cours de laquelle la pyrrhotite se transforme partiellement en pyrite, la magnétite en martite; cette deuxième phase comporte un dépôt de pyrite d'abord, d'oligiste ensuite, avec une gangue de quartz, puis de carbonate, et enfin de fluorine.

Nous compléterons ce schéma par la suite, mais nous verrons qu'il est tout à fait valable.

COTE 529 : TRAVAUX DU B.R.G.M. Les travaux faits par le B.R.G.M. en 1961 se situent presque à la même cote que le Horantatt Vincent, mais au SW du puits de l'Engin.

Nous allons en reparler longuement, car c'est de là que provient la majorité de nos échantillons. Auparavant, nous énumérons ici les autres niveaux de l'ancienne exploitation, niveaux auxquels nous n'avons pas pu accéder car le dénoyage n'en a pas été possible. Parmi ceux-ci, la "Sohle Thierry" et les trois premiers niveaux ont servi d'abord à l'exploitation de l'hématite ; ultérieurement, ils ont été repris pour la pyrite. Nous connaissons, pour chaque niveau, la section du massif pyriteux, avec beaucoup plus de précision d'ailleurs que celle de l'amas principal d'oxyde de fer situé à l'W de celui-ci :

COTE 520 : LA SOHLE THIERRY - Le massif pyriteux avait ici une section de 20 m. sur 9 (exploité en 1853).

COTE 508 : LE 1° NIVEAU (ou Sohle Vincent), appelé jadis la Halle, ou la Sohle des Anciens, ou le "niveau du percement". La section du massif pyriteux y mesurait 35 m NS sur 52 EW (exploité en 1856).

COTE 493 : LE 2° NIVEAU, avec une zone pyriteuse de 31 m NS sur 40 m. EW.

COTE 473 : LE 3° NIVEAU, où le massif pyriteux a 20 m NS sur 40 m EW.

COTE 458 : LE 4° NIVEAU, où le massif pyriteux a 12 m NS sur 15 m EW.

COTE 448 : LE 5° NIVEAU, le plus profond, où le massif pyriteux n'a plus que 9 m. sur 9.

On voit par cette énumération que le "massif pyriteux", qui avait une section de 900 m^2 au niveau des Minières, s'enfle à 1.800 m^2 au 1° Niveau, pour se réduire progressivement à 81 m^2 au 5° Niveau.

B - TRAVAUX DU B.R.G.M.

Ils ont consisté en sondages et en travaux miniers.

1 - SONDAGES (Figure 6)

Les trois sondages positifs de la campagne (S 6 et 6 bis, S 8) ont été implantés dans la zone minéralisée inconnue située entre les travaux miniers et la galerie de la Chapelle.

Disposés dans un même plan, ils nous donnent une excellente coupe de la série sur le versant nord de l'anticlinal des Minières (Figure 6).

Au dessus du mur de tufs de kératophyres, surmonté, localement d'une mince coulée andésitique (1 m dans S 6 bis), et penté à 75° N, l'on a dans cette zone, la coupe suivante, de bas en haut :

	<u>Puissance réelle</u>
- Mince <u>zone pyriteuse</u> à scheelite (0,87 % WO ³ dans S 6)	0,10 m
- <u>Skarn</u> comportant deux niveaux minéralisés :	12 m
Le premier pauvre, à scheelite fine, dans la partie moyenne (35 cm à 0,29 % dans S 6 bis vers la cote 540 ; 3 m à 0,54 % dans S 6 vers la cote 495 ; 25 cm à 0,26 % dans S 8 vers la cote 370) ; Le second, au sommet de la formation, plus riche, à grosse scheelite (1 m à 2,74 % dans S 6 bis vers la cote 555 ; 3 m à 2,77 % dans S 6 vers la cote 525, et 30 cm à 0,26 % dans S 8 vers la cote 405). Ces chiffres donnent déjà une idée de l'irrégularité de la minéralisation en scheelite.	

- <u>Dolomie</u> blanche grenue géodique, massive dans S 6 (vers la cote 535), comportant des intercalations bréchiques dans S 6 bis (vers la cote 560) et dans S 8 (vers la cote 425).	3 m
- <u>Skarn</u> plus ou moins ferruginisé à scheelite (0,37 % dans S 6)	1 m
- <u>Mineral de fer</u> , exploité dans S 6 (cote 550), se réduisant de part et d'autre à des brèches ferruginisées dans S 6 bis et S 8	2 m
- <u>Schistes bicolores</u> , avec quelques intercalations décimétriques de grauwackes et brèches diverses (brèche de faille probable dans S 8 vers la cote 510)	20 m
- <u>Dolomie</u> géodique blanche .	2 m
- <u>Schistes gris et grauwackes</u> , avec une petite lentille dolomitique dans S 8 vers la cote 550.	

On peut d'après cette coupe attribuer au magasin, dans cette zone, une vingtaine de mètres d'épaisseur : c'est également l'ordre de grandeur de la puissance de l'amas ferrifère des Minières à l'Est.

Examinons maintenant les données de ces sondages en ce qui concerne la minéralisation :

La minéralisation des skarns a été étudiée sur des échantillons du sondage oblique S 6 bis. On y reconnaît la présence d'un premier dépôt de pyrrhotite, transformée en pyrite secondaire ; par ailleurs, on note une grande abondance de pyrite fraîche à inclusions de chalcoppyrite, de pyrrhotite et même de cubanite (0,01 à 0,05 mm) () ; cette chalcoppyrite comporte parfois de jolies étoiles de blende (photo 4). Nous rattacherons cet ensemble à la première phase minéralisée, car il est lui-même injecté et rongé par un dépôt d'oligiste, accompagné par une seconde venue de chalcoppyrite sans étoiles de blende, et

suivi de cuivre gris, avec gangue de quartz et surtout de dolomie blanche ankéritique.

Le schéma précédemment donné peut donc être complété ainsi :

- Première phase minéralisée (succédant à la formation de scheelite) : pyrrhotite, magnétite, pyrite, chalcoppyrite à étoiles de blende, cubanite.
- Deuxième phase minéralisée (provoquant la transformation de la pyrrhotite en pyrite et de la magnétite en hématite) : pyrite, oligiste, chalcoppyrite, puis cuivre gris ; gangue de quartz, puis de dolomie.

Au contact des tufs kératophyriques du mar, le S 6 bis recoupe une mince formation hydrothermale qui comporte quelques résidus de scheelite, de pyrrhotite de magnétite et de rutilé dans un dépôt de type "deuxième phase" commençant par du quartz quasi stérile, suivi par une dolomie rose riche en plages de pyrite, d'oligiste et de chalcoppyrite. Les proportions de ces trois derniers minéraux dans la dolomie sont approximativement les suivantes (en volume) :

Pyrite	30 %
Oligiste	7 %
Chalcoppyrite	0,5 %

et nous paraissent typiques de la deuxième phase.

Le sondage vertical S 8 est celui qui donne l'échantillon minéralisé le plus profond de ceux que nous avons pu étudiés, puisqu'il provient de 189 m (cote 386). Il comporte un important dépôt de type "première phase", essentiellement formé de pyrite à inclusions de pyrrhotite, de chalcoppyrite, et de cubanite (0,01 à 0,02 mm) ; la cubanite est même relativement abondante (photo 5). La "deuxième phase" est représentée par une association vermiculée de quartz et de calcite, le premier étant parsemé de minuscules lamelles d'oligiste (photo 6), et parfois de petits grains de chalcoppyrite et de pyrite. On peut souligner, dans cet échantillon, outre la fréquence de la cubanite, la nature du carbonate de deuxième phase (calcite, et non plus dolomie) et sa curieuse association avec le quartz.

2 - TRAVAUX MINIERS (Figure 9)

- a) Le puits B.R.G.M. (40 m de profondeur) traverse essentiellement des tufs kératophyriques (tufs cornés siliceux roses et noirs), avec quelques passées de kératophyre rhyolitique noir   phénocristaux de quartz ; ce sont les formations du mur,   pendage 45   NW.

A 32 m de profondeur on rencontre un pseudo-skarn,   épidote et ouralite, renfermant des r s dus de tuf   biotite verte naissante ; la roche envahie de pyrite, avec marcasite, quartz, actinote, dolomie et sphène, correspond très probablement   la transformation d'un ancien tuf sédimenté en milieu dolomitique ; d'une épaisseur de 1   2 m, elle est d'ailleurs interrompue par des passées de tuf rose intact, et s'intercale dans la série des tufs kératophyriques du mur.

Ce pseudo-skarn montre en outre une fine dissémination d'oligiste, associée parfois   la chalcoppyrite (0,02 mm) ; on y voit aussi un peu de rutile et de scheelite   rares inclusions de pyrrhotite.

- b) Le travers-banca, de 30 m de long, part du puits   36,4 m de profondeur (cote 529) en direction nord-ouest. Il démarre dans des tufs siliceux cornés, noirs et roses, semblables   ceux du puits : tufs de kératophyre dacitique et rhyolitique, essentiellement vitreux, montrant parfois un développement abondant de hornblende vert-pâle (largement transformée en dolomie et chlorite), avec un peu de biotite verte, d'épidote, de sphène. Des veinules de pyrite les recoupent, avec de rares et très fines mouches de scheelite   fluorescence bleue ; chose curieuse, la biotite verte est particulièrement abondante au voisinage de ces veinules pyriteuses, ce qui indique la nature pneumatolytique de l'apport pyriteux.

A 15 m les tufs kératophyriques c dent la place, comme dans le puits,   un pseudo-skarn de 1 m d'épaisseur,   épidote et ouralite, où l'on reconnaît la scheelite en plages corrodées (0,5 mm), assez abondantes   fluorescence bleutée . A son toit, se trouvent des tufs kératophyriques, noirs ou vert sombre, plus basiques que les précédents (développement de hornblende, sphène et biotite verte) et comportant des imprégnations stratiformes de scheelite fine   gangue de quartz, ainsi que des fissures subverticales méridiennes, tapissées de quartz, pyrite et scheelite.

Vers 20 m, on traverse de nouveau un pseudo-skarn   ouralite ; et le fond du TB atteint   30 m une zone écrasée dans des tufs savonneux, entièrement chloritisés, de direction N 90 E, au delà de laquelle sont les vieux travaux du Hornstatt Vincent.

En résumé, le TB et le puits B.R.G.M. donnent une idée de la minéralisation des kératophyres situés dans les 20 m au mur de la lentille principale de skarn dont ils ont permis l'exploration. La scheelite se présente en minuscules mouches dans les fissures des tufs acides, et dans certains lits des tufs basiques ; elle est plus abondante et en mouches plus grossières (0,5 mm) dans les niveaux de pseudo-skarn. De toute façon, la teneur moyenne en WO₃ de cette série du mur n'atteint pas 0,1 % WO₃.

Avec la scheelite, on note dans ces pseudo-skarns une fine dissémination de chalcoppyrite, oligiste et pyrrhotite, parfois cubanite, magnétite, ilménite (première phase minéralisée),   laquelle succède une invasion de pyrite   gangue de quartz et de dolomie, suivie d'un peu d'oligiste (deuxième phase minéralisée). La présence d'oligiste accompagnant la chalcoppyrite de la première phase est un fait nouveau, qui mérite d'être souligné.

- c) L'allongement a été entrepris vers le Sud-ouest (direction N 250_g E), à partir du 25^{ème} mètre du TB, c'est-à-dire avant la zone d'écrasement. Il a 120 m. de long et chemine d'abord dans la série des tufs et kératophyres du mur, qu'il traverse très obliquement (avec un angle de 20 G environ sur la stratification). A 8 m., on coupe un kératophyre quartzifère largement recristallisé ayant l'aspect d'un microgranite rose, et montrant au microscope un léger développement de biotite (0,3 mm). Puis on retrouve les tufs cornés, roses et noirs.

La recoupe R 1, de 20 m. de long, faite sur la gauche dans les tufs et kératophyres, donne une coupe comparable à celle du TB. Dans les tufs cornés noirs et roses, on repère à la lampe de Wood de minuscules mouches de scheelite à fluorescence un peu jaune, jalonnant des fissures subverticales méridiennes. Vers 18,5 m. apparaît au parement gauche une petite lentille (50 cm) de pseudo-skarn, dans lequel la scheelite forme des mouches plus grossières, jalonnant le litage. A 20 m., la recoupe atteint une faille, de direction N 150_g E et pendage 50_g NE.

L'échantillonnage de la recoupe R1 montre que les tufs et kératophyres du mur, bien que traversés de fissures à scheelite fine, ne dépassent pas 0,06 % WO₃, avec une accumulation à 0,03 % WO₃.

Au delà de la recoupe R 1, le traçage rencontre la "faille de R1" à 33 m., faille remplie ici par 50 cm de brèche à éléments de tuf chloritisé, dans laquelle on trouve du quartz écrasé et un peu de scheelite écrasé aussi, ce qui souligne la postériorité de ces mouvements par rapport à la minéralisation. Au delà de la faille, on traverse des bancs de tufs soudés (ou ignimbrites), noirs et rouges, souvent riches en cristaux brisés, et dont l'orientation et le pendage sont nets: N 70_g E, avec un pendage de 80_g NW.

La recoupe R2, longue de 17 m. seulement, rencontre à 7 m. des grauwackes noirs qui constituent ici le mur immédiat des skarns. Ces grauwackes ont 2 m. d'épaisseur seulement ; leur contact avec les skarns est marqué par un dépôt d'oligiste à gangue de dolomite et de quartz grossiers ;

la dolomie rose englobe parfois de beaux cristaux automorphes d'albite (1 cm) à inclusions de chlorite vert-émeraude (prochlorite) ; un quartz calcédonieux, tardif, associée à de l'hématite fine, termine la paragenèse. Au delà de cette zone dolomitisée, la recoupe a traversé quelques mètres de skarns à grenats, puis trouvé une ancienne chambre d'exploitation (niveau du Hornstatt Vincent) : la taectite hématisée était donc partiellement enlevée par les anciens, qui l'appelaient "mère de mine" et l'exploitaient en même temps que les amas d'hématite voisins.

Après la recoupe R2, le traçage, qui reprend dans les tufs kératophyriques généralement noirs, recoupe à 63 m. les grauwackes brunâtres, très fins, situés au mur des skarns, puis un dyke de minette subvertical de direction nord-ouest et de 2 m. de puissance ; on retrouve ensuite les grauwackes brunâtres sur lesquels reposent les skarns, le contact étant assez ondulé, avec un pendage moyen de 40 W.
g

Ainsi, c'est à 68 m. seulement que le traçage entre dans les skarns magasin du compartiment des sondages. A partir de ce point, un échantillonnage systématique double (boue de foration et terres de la volée) a été réalisé à chaque volée. On constate ainsi que les boues de foration ont une teneur en WO₃ variant de 0,06 à 0,56 % avec deux accumulations, l'une à 0,10 %, l'autre à 0,25 %, et une moyenne de 0,23 %.

Ces skarns sont essentiellement formés de grenat brun clair, intermédiaires entre le grossulaire et l'andradite (1), associé à de l'actinote, de la calcite et du quartz. La roche est généralement fracturée et parcourue de veines à oligiste, calcite et quartz, bordées d'un liseré de clinoclère.

(1) Les mesures d'indices et de densité sur un échantillon prélevé à 71 m. ont donné les proportions suivantes : 70 % grossulaire et 30 % andradite.

La scheelite apparaît en mouches éparses, tantôt assez grossières (jusqu'à 2 mm) et donnant une fluorescence jaune pâle, tantôt fines (inférieures à 0,2 mm) et donnant une fluorescence bleue, (comme celle que nous avons signalée dans les fissures des tufs). On signale souvent que la fluorescence jaune pâle correspond à une plus grande proportion de molybdène ; à Costa-bonne par exemple (Guitard et Laffitte, 1958, p. 98) la scheelite à fluorescence jaune pâle tient 0,80 à 0,90 % MoO₃ alors que celle à fluorescence blanche tient 0,15 % MoO₃ seulement. Ici, deux échantillons de skarn, l'un à scheelite jaune dominante, l'autre à scheelite bleue dominante ont donné, après concentration gravimétrique, les résultats d'analyse suivants (1) :

	Scheelite grossière (à fluorescence jaune pâle)	Scheelite fine (à fluorescence bleue)
WO ₃	75,1 %	74,4 %
CaO	18,9 %	18,6 %
SiO ₂	0,5 %	0,4 %
FeO ₃	1,0 %	2,6 %
Mo	0,19 %	0,12 %
Mg	traces	traces
Mn	0,021 %	0,014 %
Zn	0,005 %	0,002 %
Sr	non décelé	non décelé
Y	traces	traces

On voit que la variété jaune pâle est un peu plus riche en Mo, en Mn et en Zn que l'autre. Outre la scheelite, on constate toujours, dans ces skarns, la présence d'un peu de magnétite (0,05 mm), de pyrrhotite (0,03 à 0,10 mm), de chalcoppyrite (0,02 à 0,20 mm), parfois de cubanite (très rare).

(1) La recherche de Mo, Mg, Y, Mn et Sr a été faite par spectrographie (M. Moatti) ; les seuils de sensibilité sont de 10 millionnièmes pour Sr et de 1 millionième pour Mn.

A cette première phase de minéralisation succède un développement parfois abondant de pyrite, accompagnée d'un peu de chalcoppyrite et suivie d'oligiste en agrégat fin à gangue de quartz. C'est la deuxième phase minéralisée précédemment décrite. L'oligiste remplace la magnétite (photo 7), injecte et ronge la pyrite, se développe sur l'ouralite (photo 8). Par ailleurs, un échantillon (entre 70 et 80 m) montre quelques minuscules plages d'emplectite Cu Bi S_2 (1).

A 80 m, une petite recoupe R 3 vers la droite atteint au bout de 3 m la dolomie qui constitue le toit des skarns. Aussitôt après cette recoupe, le traçage rejoint ce contact et le suit. Dans l'ensemble, ce contact est dirigé N 30° E, avec un pendage de 75 à 90° NW, mais il est souvent décroché par de petites failles nord-nord-ouest.

La dolomie (2) est blanche, saccharoïde, avec parfois un ou deux minces rubans d'oligiste (2 à 3 cm), interstratifiés à proximité immédiate du contact. Mais, le plus souvent, elle est envahie, jusqu'à 50 cm ou 1 m du contact, par un dépôt abondant de pyrite à gangue de quartz, lequel imprègne aussi le skarn sous-jacent (qui se trouve ainsi appauvri en scheelite sur une épaisseur du même ordre).

Cette minéralisation massive, que nous avons appelée "zone pyriteuse du toit", suit fidèlement le contact skarn-dolomie sur les trente derniers mètres du traçage. Elle a été bien étudiée en section polie : la pyrite

(1) La présence de Bi et de Cu a été vérifiée à la microsonde électronique.

(2) Les mesures d'indice confirment qu'il s'agit bien de dolomie, même lorsqu'elle est riche en fines disséminations d'oligiste et devient brun rougeâtre :

	Dolomie blanche	Dolomie brun-rougeâtre
Ng	1,680	1,682
N'p	1,578	1,616

qui constitue 80 à 85 % (en poids) des échantillons étudiés, forme des agrégats de grandes plages (0,2 à 3 mm) sub-automorphes dans lesquelles on retrouve, sous forme d'inclusions, des résidus de la première phase minéralisée (essentiellement pyrrhotite et chalcopryrite à étoiles de blende).

La deuxième phase minéralisée comporte, après la pyrite, un dépôt d'oligiste (0,02 à 0,2 mm), de chalcopryrite et de cuivre gris à gangue de quartz, et se termine par de la dolomie accompagnée d'oligiste : l'oligiste se présente dans la dolomie en nids ovoïdes fibro-radiés (0,10 mm) (photo 9), ou en fines lamelles (0,01 mm) auréolées de halos limonitiques (photo 10).

A 92 m., une recoupe R 4, faite sur la gauche, recoupe toute l'épaisseur des skarns magasins. Des veines à gangue de quartz et de dolomie tardive sont minéralisées en scheelite (0,1 à 3 mm) brisée, en rutile (0,05 à 0,5 mm) et en pyrite à inclusions de pyrrhotite et de chalcopryrite. On note la présence dans ces veines elles-mêmes et dans le skarn silicifié des éponges, de bismuthinite corrodant la pyrite (photo 11). La bismuthinite, en aiguilles de 0,05 à 0,30 mm de large, recèle souvent des inclusions de bismuth natif et parfois de tétradyomite Bi_2TeS_2 (1) ; localement elle est accompagnée d'emplectite Cu Bi S_2 , en aiguilles plus fines (0,01 mm de large), éparées dans la dolomie (photo 12) ou corrodant aussi la pyrite.

Ainsi notre deuxième phase minéralisée comporte localement des minéraux de bismuth : bismuthinite, bismuth natif, emplectite, tétradyomite. De telles zones bismuthifères sont classiques dans les gîtes de contact (Rezbanya) ; le bismuth y est généralement en quantité trop faible pour être récupérable, mais trop grande pour ne pas être gênant.

(1) La présence de Bi et Te a été vérifiée à la microsonde électronique.

On aurait pu y rencontrer de l'or ; on sait en effet que la tétradymite accompagne parfois l'or dans les gîtes de contact. C'est pourquoi, nous avons fait préparer un concentré de flottation à partir d'un échantillon (10 kg) d'une veine de quartz à pyrite et tétradymite. Mais les résultats de l'analyse chimique ont été décevants :

	Fe	Bi	Cu	Au
Concentré de 1 mm	31 %	0,25 %	0,19 %	1,1 g/t
Concentré de 0,2 mm	25,7	0,25	1,15	2

(Analyses Lab. BRGM n° 3763 et P. Dubois n° 83.041.)

D'autre part, l'échantillonnage de la recoupe R 4 montre bien l'appauvrissement progressif des skarns en WO₃ lorsqu'on va du toit au mur : la teneur des boues de foration tombe de 0,85 % WO₃ à 0,05 % en 6 m., et les 5 derniers mètres ont une teneur en WO₃ identique à celles des tufs sous-jacents (0,01 à 0,04 % WO₃). (1).

En résumé : Les skarns magasin ont une minéralisation en scheelite relativement faible, qui s'appauvrit encore à la partie inférieure : seuls les 3 ou 4 mètres supérieurs sont assez bien minéralisés (0,25 % WO₃). Le sommet des skarns, au contact de la dolomie est généralement mangé par un dépôt de pyrite, suivi d'oligiste, de chalcoppyrite et de cuivre avec une gangue de quartz.

(1) Cependant, un sondage horizontal percutant, fait en bout de la recoupe et dans la même direction, atteint à 18 m. un skarn qu'il recoupe sur 13m. (avec des teneurs de 0,20 à 0,40 % WO₃) et dont on ignore la nature exacte. On ne dispose en effet que de boues de foration ; mais la présence dans ces boues de débris de grenats suggère qu'il s'agit d'un skarn véritable, dont la position géologique serait assez aberrante.

Cette deuxième phase minéralisée, qui se termine par de la dolomie associée à de l'oligiste très fin, se retrouve en veimules traversant toute l'épaisseur des skarns, elle comporte localement des minéraux de bismuth.

On peut résumer ainsi les paragenèses des deux phases minéralisées :

- Première phase minéralisée (succédant à la formation de scheelite)
pyrrhotite, magnétite, pyrite, chalcoppyrite à étoiles de blende, cubanite.
- Deuxième phase minéralisée (provoquant la transformation de la
pyrrhotite en pyrite et de la magnétite en hématite) : pyrite, oligiste,
chalcoppyrite, cuivre gris ; gangue de dolomie, de quartz et enfin de
fluorine ; localement rutile, bismuthinite, bismuth natif, emplectite,
tétradymite.

III - LA ZONE MINERALISEE DU SUD

Sur le versant nord de la Tête Mathis, à environ 100 m. au-dessus et 300 m. au SE. du village des Minières, on connaît toute une série d'excavations (Figure 3) dessinant un alignement principal symétrique de la zone septentrionale par rapport à l'anticlinal de Grandfontaine et un alignement secondaire plus au Sud.

A - ALIGNEMENT PRINCIPAL

L'alignement principal, de direction est-sud-est, a près de 480 m. de long, il comporte d'ouest en est, les excavations suivantes :

- La Mine Grise
- La Mine des Engins
- La Mine Rouge
- La Mine Jaune

Les trois dernières, montrent sur leur bordure nord une grenatite hématisée reposant sur des tufs kératophyriques, gris ou noirs, à quartz visible et nombreux fragments lithiques : le contact, d'orientation est-sud-est, pend à 80° S, et le minerai exploité se trouvait plus au sud, séparé des tufs rhyolitiques par 2 m. environ de grenatite. Au toit du minerai se trouvait localement une lentille dolomitique qui n'affleure pas, mais qu'on peut atteindre en profondeur, sous la Mine Rouge, par la galerie K' ; ailleurs le toit était marqué par une salbande argileuse et noirâtre que les anciens appelaient "brand".

Nous décrirons successivement chacune de ces anciennes exploitations, du moins ce qu'on peut encore en connaître, et nous terminerons par l'examen des travaux du Curé, deux galeries encore accessibles situées à l'E et en contre-bas de la Mine Jaune (Figure 3 et 4).

MINE GRISE ET

MINE DES SOUDIERES ("Mine Grise du Haut")

HISTORIQUE DES TRAVAUX

Jusqu'au XIX^e siècle, cet amas aurait été exploité à partir du jour (cote 680) et d'une galerie d'écoulement supérieure (cote 650) jusqu'à une profondeur d'une soixantaine de mètres.

L'achèvement de la galerie inférieure (cote 590) en 1819, puis de la galerie de la Chapelle (cote 575) en 1833 permit à l'exploitation d'atteindre la cote 565 (galerie et puits intérieurs Clément). Celle-ci porta jusqu'en 1844 sur le fer (production moyenne annuelle d'une centaine de tonnes, production maximale de 550 T en 1825), puis de 1851 à 1857 sur une zone pyriteuse d'une trentaine de mètres de hauteur située au mur.

Parallèlement, de 1837 à 1844, on exploitait, dans le mur de l'ancien "ciel ouvert", des zones plus ou moins ferrugineuses ("Soudières" ou "Mine Grise du Haut") par petits puits et galeries (production moyenne annuelle de 200 T environ donnant 30 à 36 % de fonte). On signale enfin diverses tentatives de reprise à partir de la galerie de la Chapelle en 1863-64, 1872-73, et pendant la guerre de 1914.

La production totale au XIX^e siècle étant de l'ordre de 5.000 tonnes de minéral de fer et quelques centaines de tonnes de pyrite seulement, on peut supposer à l'amas de la Mine Grise une importance totale de quelques dizaines de milliers de tonnes au maximum.

La réouverture de la galerie de la Chapelle en 1961 ne nous a malheureusement pas permis d'examiner les fonds de la Mine Grise, en raison d'un éboulement trop important situé entre 250 et 300 m. de l'entrée.

DESCRIPTION DU GISEMENT

L'excavation de la Mine Grise (1) est un peu au sud de l'alignement principal dont nous avons parlé au début ; on y voit affleurer un îlot de dolomie blonde, au coeur de la dépression, et des kératophyres rhyolitiques gris-vert, sur sa bordure nord-ouest, mais pas de grenatite comme dans les autres (2).

L'amas exploit      la Mine Grise avait 5    8 m. de puissance moyenne ; orient   E.S.E. et plongeant    65   vers le sud entre un mur de grenatite ou de kératophyre et un toit de dolomie (3), cet amas s'  paississait jusqu'   15 m. en profondeur. Il   tait essentiellement form   d'oligiste finement cristallis  , d'aspect terreux, m  l   de pyrite au toit et localement au mur. Un peu de martite l'accompagnait. Mais ce qui caract  risait la Mine Grise c'  tait l'abondance du cuivre : veinules de cuivre gris, avec parfois chalcoppyrite ; et surtout   paisse lentille de bornite (1,35 m. d'  paisseur, 2 m. de long, 5 m. d'extension suivant le pendage), disparaissant en profondeur au niveau de la galerie inf  rieure. Par ailleurs, Daubr  e a trouv   du bismuth natif dans une g  ode au sein de la dolomie recristallis  e. On a signal   en outre    la Mine Grise la pr  sence de francolite et d'aragonite.

L'  tude des d  blais de la Mine Grise ne montre les min  raux sulfur  s de premi  re phase qu'en inclusions dans le quartz (pyrrhotite) et surtout dans la pyrite (cubanite, chalcocubanite, chalcoppyrite). La deuxi  me phase,    cuivre et bismuth, est particuli  rement d  velopp  e : soulignons, outre l'abondance d'oligiste la pr  sence de chalcoppyrite, et la fr  quence de la bornite et du cuivre gris ars  ni   (tennantite), associ   localement    la wittichenite, avec une gangue de quartz, de fluorine et de calc  doine. La schoelite, fr  quente, et qui se pr  sente parfois, chose curieuse, encapsu  e de fluorine (Miller, 1905), se rattache nettement par contre au d  but de la premi  re phase.

(1) Mal localis  e par Miller (1905), la Mine Grise est au n   5 de son plan.

(2) L'existence de skarn au mur ne fait cependant aucun doute, elle est indiqu  e dans les anciennes coupes, et l'on en retrouve dans les d  blais des 2 galeries de la Mine Grise.

(3) Ou de calcaire (pr  sence de calcaire noir    entroques dans les d  blais de la galerie sup  rieure).

La dernière période de l'exploitation a porté sur la grenatite hématisée du mur (36 % Fe), séparée de l'amas principal par une faille ("faux mur" schisteux). Cette grenatite hématisée a été exploitée à la fois près de la surface ("mine des Soudières") et en profondeur ; au niveau de la galerie de la Chapelle ; on a trouvé en 1852, toujours au mur, un massif de 15 m. sur 8 m. de pyrite mêlée de fluorine.

MINE DES ENGIN S

HISTORIQUE DES TRAVAUX

Abandonnés vers 1770, les travaux ont été repris en 1838 dans la partie supérieure (dite "mine du Sapin"), après réouverture de l'ancienne galerie d'écoulement ; pendant 3 ans, ces travaux ont produit un millier de tonnes de minerai seulement.

DESCRIPTION DU GISEMENT

On exploitait ici (1) un amas d'hématite rouge à pendage sud, avec limonite au mur ; l'amas s'étranglait vers l'Est et s'amincissait en profondeur. La galerie de l'Engin a été utilisée en 1839-40 à l'exploitation de la grenatite hématisée du mur, laquelle présentait d'ailleurs des traces de cuivre (malachite et cuivre gris).

L'excavation actuelle montre bien les tufs kératophyriques, ainsi que la grenatite du mur avec un pendage de 80_g sud.

(1) L'excavation de la mine des Engins a été mal localisée par MILLER (1905), qui l'a prise pour celle de la Mine Rouge (c'est le n° 4 de son plan).

Chose curieuse, on reconnaît ici, au mur immédiat de la grenatite, un grauwacke gris-noir très semblable à celui rencontré au mur des skarns dans les travaux B.R.G.M. des Minières. Ainsi, sur le flanc sud comme sur flanc nord de l'anticlinal de Grandfontaine, le même épisode détritique forme transition entre les formations volcaniques et pyroclastiques d'une part, et d'autre part les sédiments carbonatés qui ont donné naissance aux skarns.

Par ailleurs, on trouve dans les déblais des fragments de quartz à oligiste, renfermant quelques très rares mouches de scheelite, avec un peu de pyrite et de chalcoppyrite ; la pyrrhotine accompagne parfois la chalcoppyrite. L'oligiste s'est manifestement formé le dernier, pénétrant dans les fractures du quartz, préalablement minéralisé en pyrite, scheelite et magnétite.

M I N E R O U G E

HISTORIQUE DES TRAVAUX

L'exploitation de la Mine Rouge est sans doute plus ancienne et plus superficielle que celle des autres mines de cet alignement ; on en signale l'abandon vers 1790. L'excavation actuelle n'est distante de celle de la Mine Jaune que de 70 m. Le minerai principal était ici l'hématite rouge ; les travaux de 1835-1845 semblent avoir porté essentiellement sur la lentille dolomitique découverte en profondeur entre les Mines Rouge et Jaune, ils ont été faits à partir du Puits du Manège de la Mine Jaune : une galerie de 44 m. de long desservait, au niveau principal (cote relative : - 65 m.), une chambre d'exploitation de 5.000 m³ dans la "castine" (1). Mais on a exploité aussi en 1838 un petit massif de minerai de fer à partir du travers bancs d'écoulement de la Mine Jaune (cote 640).

(1) La castine ainsi extraite était utilisée pour la métallurgie.

DESCRIPTION DU GISEMENT

La réouverture du travers-bancs K' nous a permis d'explorer l'aval de la Mine Rouge. On entre par le nord dans des kératophyres quartzeux et tufs kératophyriques, noirs et roses, très siliceux,   pendage 50 NE ; vers 60 m, le pendage diminue en même temps qu'on recoupe des veines de quartz   pyrite ; et, vers 100 m, les tufs siliceux plongent vers le Sud, sous une grenatite   scheelite. On atteint l'amas d'hématite vers 110 m ; puissant de 3   4 m, il est en contact subvertical avec la grenatite et renferme des enclaves de dolomie recristallisée mêlée d'oligiste. La lentille de dolomie elle-même et la chambre de "castine" ne sont pas accessibles, la galerie étant noyée.

L'excavation actuelle permet de constater la présence de scheelite dans la grenatite du mur, laquelle tient 0,25 % WO_3 . Elle montre aussi, parmi les déblais, des fragments d'un véritable "greisen" pyriteux, formé   partir des tufs kératophyriques, et dont nous avons parlé au chapitre premier ; ce "greisen", qui présente des teneurs anormales en Li (140 millionièmes), Sn (60 millionièmes) et Be (14 millionièmes), témoigne d'un apport pneumatolytique, lié sans doute au granite sous-jacent.

M I N E J A U N E ("LOUISE")

HISTORIQUE DES TRAVAUX

Les premières données précises qu'on possède sur ces travaux (1818) laissent supposer que l'exploitation antérieure au XIX  siècle s'appuyait sur le ciel ouvert (cote 695), une ancienne galerie d'écoulement, dite "des Anciens", (cote 670) un travers-bancs ("K'") visible actuellement (cote 650) et le puits du Manège, puits de 80 m atteignant la cote 610.

Au cours du XIX  siècle et jusqu'en 1864, les principaux travaux se sont cantonnés dans la partie inférieure de la mine, entre les cotes 650 et 610, avec une production annuelle de l'ordre du millier de tonnes (pendant les années

productives), tandis que, à la partie supérieure, la reprise des anciens travaux ("Mines du Trou, du Sapin et du Manège") assuraient de temps à autre une petite production d'appoint (2.000 tonnes environ au total).

De 1832 à 1855, on tente d'exécuter à la cote 590, une grande galerie d'écoulement dite "Terlingoutte", puis "Mine du Curé", destinée à explorer l'aval et l'extension orientale éventuelle de la Mine Jaune ; elle fut arrêtée vers 350 m avant d'avoir atteint son but, en raison apparemment des difficultés de foration.

De 1865 à nos jours, il faut signaler une petite reprise d'exploitation en 1917-18 et l'exécution en 1940 d'une galerie, dite "Recherche du Curé" et destinée apparemment à retrouver et à explorer la galerie de Terlingoutte qu'elle rejoint au bout de 200 m. La réouverture de cette galerie en 1957 nous a permis d'étudier tout ce secteur du Curé.

La production totale connue (de 1825 à 1864) de la Mine Jaune et de ses annexes est de l'ordre d'une vingtaine de milliers de tonnes (donnant 42 % de fonte).

DESCRIPTION DU GISEMENT

La Mine Jaune produisait essentiellement de l'hématite brune à 40-43% Fe. Selon Miller (1905), et les archives du Service des Mines, l'amas exploité atteignait 140 m de long avec 7 m de puissance moyenne (puissance maximale : 30 à 40 m). Le puits principal d'extraction et d'exhaure était en 1835 le Puits du Manège établi dans le "brand", un peu à l'W de l'excavation actuelle. A l'W de ce puits où un traçage gagnait l'aval de la Mine Rouge, le gîte se terminait en biseau dans du "brand", coincé dans des formations volcaniques au toit et au mur. A l'est, au contraire, l'exploitation s'est arrêtée sur 6 m de pyrite massive. Dans l'ensemble, la puissance moyenne de l'amas minéralisé était de 10 m au niveau de la galerie d'écoulement (51 m sous la surface), de 15 m au niveau principal d'exploitation (15 m plus bas), et de 5 m seulement à 15 m encore plus bas.

La minéralisation était formée essentiellement d'hématite brune, avec de la magnétite et un peu de pyrolusite. Muller (1905) note la présence de blende, galène et chalcopryrite associées à la pyrite en "résidus", dans la dolomie, laquelle passait à l'ankérite et à la sidérite.

Dans la grenatite altérée de surface, on peut reconnaître encore actuellement la présence de scheelite soit disséminée, soit associée à des zones de quartz et pyrite. C'est aussi dans la grenatite friable (1) de la Mine Jaune que Reyrich (1835) a découvert la phénacite, dont plusieurs échantillons, à gangue de quartz et d'hématite, sont conservées dans diverses collections françaises, en particulier celle de l'Ecole des Mines de Paris. On a signalé enfin l'existence de topaze et de fluorine, ainsi que celle d'adulaine (Weil et Jarovoy, 1950).

TRAVAUX DU CURÉ

À l'extrémité orientale de l'alignement principal, des recherches ont été faites vers l'aval de la Mine Jaune par le moyen de deux galeries d'orientation générale est-ouest :

- 1 - UNE GALERIE INFÉRIEURE ou "Mine du Curé" (appelée autrefois Galerie de Tarlingoutte) ; faite de 1832 à 1855 et reprise par les allemands pendant la guerre de 1914-1918, cette galerie est aujourd'hui obstruée par un éboulement et en partie noyée. Elle traverse essentiellement des kératophyres et tufs kératophyriques quartzeux, recoupés par des filonnets de quartz à pyrite et scheelite.

Un filon plus puissant que les autres (20 cm), de direction N 180° E et subvertical, se trouve au point de jonction avec la galerie supérieure (ou "Recherche du Curé") ; il comporte un remplissage de quartz, minéralisé en

(1) Un prélèvement de 10 Kg fait sur la grenatite altérée de surface a donné à l'analyse 126 millionièmes de Be.

chalcoppyrite, pyrite, mispickel, oligiste, néodigénite, bornite à inclusions de wittichenite, bismuth natif et bismuthinite, associée à un minéral proche de l'affkinite par son spectre RX, mais qui en diffère un peu par sa composition chimique (déficiency en cuivre) (1).

D'une façon générale, l'étude d'échantillons minéralisés recueillis dans les halles de la Mine du Curé a montré les minéraux suivants par ordre d'abondance décroissante :

- Pyrite abondante à inclusions fréquentes de pyrrhotite, de chalcoppyrite (à étoiles de blende), parfois de cubanite et de chalcocubanite.
- Chalcoppyrite fréquente.
- Scheelite assez fréquente.
- Molybdénite très fine, assez fréquente.
- Bismuthinite , associée localement à la galénobismuthite, les deux minéraux renfermant des inclusions de tétradymite et de tellurobismuthite.
- Marcasite tardive.

La gangue est le quartz, accompagnée de minéraux plus tardifs : dolomie, calcite et fluorine.

(1) Une analyse de ce minéral à la microsonde électronique a donné la composition suivante (précision de l'ordre de 5 %) :

Bi	41,6 %
Pb	33,7
Cu	4,5
S	19
	98,8

ce qui correspond à la formule : $\text{Pb}_{2,2} \text{Cu Bi}_{2,8} \text{S}_7$

alors que l'affkinite a pour formule : Pb Cu Bi S_3

On peut reconnaître ici la superposition de deux phases minéralisées :

- Une première phase à scheelite et molybdénite, avec pyrrhotite, chalcoppyrite à étoiles de blende et cubanite ;
- Une deuxième phase, à cuivre et bismuth dominants, avec pyrite, chalcoppyrite, bornite, wittichenite, bismuthinite, galénobismuthite, bismuth natif et marcassite tardive.

L'apparition de la molybdénite mérite d'être soulignée ; elle se présente généralement en injection à l'éponte des filonnets de quartz à scheelite.

- 2 - Une GALERIE SUPERIEURE (ou "Recherche du Curé") dont l'entrée est située à 150 m. au NW de celle de la galerie précédente, et seulement à quelques mètres plus haut (cote 600 environ). Cette galerie, de beaucoup postérieure, semble avoir été faite en 1940 pour accéder à la Mine du Curé en évitant les éboulements de l'entrée. Elle a été rouverte par le BRGM et à 180 m. de long. De direction ouest-nord-ouest, elle pénètre obliquement (à 20° de la stratification), dans une série de kératophyres et tufs kératophyriques quartseux d'orientation N 100 à 120° E, à pendage sud très redressé (une fissuration à contre-pendage donne l'illusion d'un pendage). Il faut souligner dans cette série la présence de deux niveaux (de 2 à 3 mètres d'épaisseur) d'andésite légèrement métamorphisée (développement de hornblende verte) et d'un court passage de skarn envahi de quartz et de feldspath potassique.

Ce skarn (à 120 m. de l'entrée) occupe le centre d'une zone à scheelite fine diffusant en minces veinules avec le quartz et la pyrite au sein des autres roches. (de 110 à 140 m. de l'entrée) (1). Il montre lui-même une assez belle minéralisation avec scheelite assez grossière (1 à 4 mm), magnétite, oligiste, et surtout pyrite à inclusions de pyrrhotite, de chalcoppyrite et parfois de cubanite.

(1) Les teneurs en WO_3 de l'ensemble sont très faibles (moins de 0,1 % WO_3 sur les 30 m.).

B - SECOND ALIGNEMENT

A environ 130 m. au sud de l'alignement des excavations précédentes, apparaît un deuxième alignement, moins net, constitué par :

- La Mine Noire

- La Mine de Metzger.

Aucun affleurement de grenatite n'est visible dans ces excavations, qui ne montrent que des grauwackes gris, finement rubanés. Localement, ces grauwackes prennent un facies noir et léger qui correspond sans doute au "brand" des anciens.

En profondeur, les travaux de la Mine Noire ont reconnu un banc calcaire intercalé dans ces grauwackes, mais il n'est pas question de skarn dans les documents (1), et il semble bien que le mode de gisement de l'hématite soit un peu différent ici de ce qu'il est ailleurs.

Du point de vue tectonique, les formations ont ici un pendage nord, comme au Minières, et les anciennes coupes notent la succession suivante (du mur au toit) : "aurite" - calcaire et minéral - schistes et grauwackes. On peut donc penser qu'on a affaire au même horizon minéralisé que dans les travaux précédents, avec disparition probable des skarns. Cette disparition peut être attribuée à un changement latéral de facies dans les formations volcaniques, les tufs manquant ici et le calcaire reposant directement sur une lave.

(1) Bien qu'on en trouve des débris dans les déblais de la galerie inférieure de la Mine Noire (?).

MINE NOIRE (SCHWARZGRUBE)

L'excavation actuelle est à 150 m. au SW de celle de la Mine Grise (1).

HISTORIQUE DES TRAVAUX

Il semble que, jusqu'au XIX^e siècle, l'exploitation de cette zone ait été étendue jusqu'à une soixantaine de mètres de profondeur à partir du ciel ouvert (cote 675), par les deux galeries d'écoulement (cotes 650 et 625), lesquelles ont été reprises en 1820 ; c'est surtout à partir de ces deux niveaux que l'exploitation a été menée jusque vers 1863 avec une production moyenne annuelle de 250 tonnes environ (maximum 500 tonnes en 1828).

A partir de la galerie de la Chapelle, une dérivation dite "Galerie Schroede" a exploré vers 1840 l'aval de la Mine Noire, à une cinquantaine de mètres au-dessous de la galerie inférieure, mais, semble-t-il, avec des résultats peu encourageants.

Enfin, de 1841 à 1844, les abords du ciel ouvert ont été explorés par galerie ("Mine Noire du Haut").

La production totale au XIX^e siècle est de l'ordre de 8.000 tonnes de minerai, donnant 20 à 27 % de fonte.

DESCRIPTION DU GISEMENT.

Une galerie ouverte en 1835 ("galerie Schroeder") reliait les deux exploitations de la Mine Noire et de la Mine Grise au niveau de la galerie de la Chapelle ; elle traversait, à partir des calcaires du toit de la Mine Grise, d'abord du "brand", puis une faille à remplissage sableux, au delà de laquelle on retrouvait des calcaires vers le sud.

(1) N° 7 sur le plan de MILLER (1905).

L'amas exploité avait la forme d'une plaque subverticale de 1 m. de puissance, orientée est-ouest, entre la faille à remplissage sableux et les calcaires à intercalations schisteuses du compartiment sud. Il était formé d'une hématite terreuse mêlée d'oxydes de manganèse (pyrolusite, manganite ?), avec présence de martite et d'oligiste recristallisé en nids épars. Cette masse terreuse noire emballait des fragments de grès (1). Des veines d'oligiste pénétraient dans les calcaires du toit, où l'on trouvait aussi des octaèdres de martite.

Les travaux d'accès, aujourd'hui difficilement repérables en surface, comportaient :

- Une galerie inférieure d'écoulement et de roulage (230 m. de long en 1835) située à 50 m. au-dessus du niveau de la galerie de la Chapelle. Cette galerie a servi ultérieurement à extraire le calcaire ("castine").
- Une galerie supérieure d'aérage (100 m. de long en 1835), à 20 m. au-dessus de la précédente.

L'examen des déblais dans l'excavation actuelle de la Mine Noire, vaste dépression plantée d'arbres, est assez décevant ; on y reconnaît quelques fragments de dolomie rose et de quartz à oligiste.

Par contre, les déblais de la galerie inférieure ont fourni des échantillons cuprifères à bornite abondante comparables à ceux de la Mine Grise. La bornite, associée à un peu de cuivre gris, remplace localement la pyrite ; elle se transforme partiellement en idalite et chalcoppyrite, et s'altère en covellite et digénite. La gangue est formée de quartz et de fluorine, avec calcédoine tardive.

(1) Ces grès, ainsi que les sables du remplissage cité plus haut, sont rapportés aux grès vosgiens (?) par De Billy (1940). Il est plus probable qu'ils appartiennent à la série schisto-grausackeuse du toit (cf. sondage S 8).

MINE DE METZGER

Située 120 m. plus à l'Est, et à 140 m. au S de la Mine Grise, l'excavation de la Mine de Metzger exploitée de 1819 à 1829, est aujourd'hui à peine visible. Elle était reliée à la Mine Noire par une galerie est-ouest, "creusée dans le filon".

D'après Elie de Beaumont, l'amas exploité, d'orientation est-ouest comme à la Mine Noire, reposait contre une salbande argileuse teintée de noir par les oxydes de manganèse et renfermant des débris rocheux ; c'est cette salbande que les mineurs appelaient "brand". On ne signale pas la présence de calcaire.

La minéralisation était formée d'hématite (1) "un peu magnétique" (présence de martite), parsemée d'oligiste lamellaire et traversée de veinules de quartz. Des zones fracturées montraient des passées de limonite ainsi que des fragments emballés d'une roche feldspathique blanchâtre "présentant des petits points de quartz hyalin".

Au nord de l'ancienne excavation, affleure un grauwacke finement rubané ; sur sa bordure sud-est au contraire apparaît un tuf kératophyrique rosé, très siliceux, qui annonce les roches de la Tête Mathis.

*

* *

EN RESUME, La minéralisation du flanc sud de l'anticlinal de Grand-Fontaine est de même type que celle du flanc nord, du moins en ce qui concerne l'alignement principal, de la Mine Grise à la Mine Jaune, et les galeries du Curé. Elle se situe dans un horizon de skarn reposant sur des kératophyres et tufs kératophyriques par l'intermédiaire d'un mince niveau de grauwacke ;

(1) Les beaux échantillons d'"Oligiste irisé de Framont", qui figurent dans toutes les vieilles collections, proviennent de ce gisement.

la base des skarns (grenatites) est minéralisée en scheelite et comporte localement un peu de béryllium sous forme de phénacite. Les amas ferrifères exploités se trouvaient généralement au sommet des skarns, au contact de dolomies (ou de calcaires) lenticulaires dans lesquelles se fixaient préférentiellement les sulfures accessoires (Cu, Bi, Pb, Zn), en particulier la bornite et le cuivre gris à la Mine Grise, la blende et la galène à la Mine Jaune. Il faut souligner aussi la présence constante de fluorine tardive.

L'alignement secondaire, de la Mine Noire à la Mine de Metzger, peut être interprété, soit comme un autre horizon minéralisé situé dans le toit de la formation principale, soit plutôt (étant donné son pendage inverse), comme la réapparition du même niveau sur l'autre flanc d'un petit repli synclinal s'adossant à la faille supposée qui doit limiter vers le Sud le graben de Grandfontaine. Nous avons très peu de détails sur la paragenèse (oligiste, martite) dont on souligne seulement la richesse relative en manganèse (pyrolusite).

IV - LA MINE DE L' EVECHE

Située sur le mont Evêché, à l' E du village de Grandfontaine , et à 1 km (à vol d'oiseau) à l'E des travaux du Curé (Figure 2), la Mine de l'Evêché est difficile à raccorder aux alignements minéralisés qui viennent d'être décrits. Il est possible qu'elle en soit séparée par une ou plusieurs failles.

HISTORIQUE DES TRAVAUX (Figure 7)

Dès avant la Révolution, on savait que cette mine avait été exploitée (Dietrich, 1785), "depuis fort longtemps (1), par une galerie de 450 m., avec dix extensions". La reprise de ce secteur, au moyen de 3 galeries superposées, de 1824 à 1827, aurait démontré que la "mine de fer" était épuisée ; et ce n'est qu'en 1851, lorsque la Société des Mines de Framont s'intéressa à la pyrite, que de petits travaux annexes reconnurent un tonnage de 10.000 tonnes de roches pyriteuses, dont 3.000 auraient été extraites en 1869.

On observe sur le terrain l'alignement des anciens travaux d'exploitation de la mine de fer, sur 500 m. environ, ainsi que deux entrées de galeries seulement qui doivent correspondre aux deux niveaux inférieurs (cotes 530 et 545) ; ces galeries ont été rouvertes au cours des deux guerres mondiales, sans autres travaux.

La présence de skarn à scheelite ayant été constatée dans les haldes, les galeries ont été rouvertes une quatrième fois par le B.R.G.M. en 1957, et la lentille pyriteuse du niveau supérieur échantillonnée. A la suite de résultats encourageants (0,53 % WO_3), une prospection électro-magnétique a été effectuée, et 3 sondages forés, le premier sur l'anomalie principale constatée, les 2 autres vers l'aval des anciens travaux. Les résultats définitifs étant à peu près négatifs le problème a été classé.

(1) Au 16^e siècle, au moins (lettres patentes de 1682 accordant le droit de mines à l'Evêque de Strasbourg).

DESCRIPTION DU GISEMENT

Les travaux d'exploitation de l'Evêché ont porté sur un amas d'hématite et limonite de 1 à 5 m. de puissance (de Billy, 1840), jalonné en surface par un alignement de petites excavations de direction N 55_G E et de 80 m. de long. Une lentille de calcaire marmorisé (et non de dolomie), tronquée à l'ouest par une faille méridienne, affleure à l'extrémité nord-est de l'alignement ; elle semble se rattacher vers l'E à une série d'orientation générale est-nord-est et de pendage nord. Mais à l'ouest de la faille, dans les travaux miniers, ce calcaire apparaît au toit de tufs kératophyriques d'abord sombres, puis clairs, dont l'orientation est nord-ouest-sud-est et le pendage nord-est. Il y a donc, entre l'ouest et l'est, un changement brusque d'orientation, lié à la présence d'un accident méridien.

A sa base, le calcaire passe à une grenatite à épidote et biotite verte, envahie localement de quartz et de feldspath potassique. C'est au sommet de cette grenatite que se trouvait la minéralisation en hématite.

Elie de Beaumont (1822) et Miller (1905) notent que le minerai comportait surtout de l'oligiste, avec des masses d'hématite brune, de la magnétite transformée en martite, et de la pyrolusite en aiguilles ; ils citent aussi : pyrite, chalcoppyrite, blende, galène, sidérite, calcite et barytine.

Deux galeries en travers-bancs, ont été rouvertes par le B.R.G.M. :

- L'une (galerie supérieure), s'ouvre à la cote 545, soit à 20 m. sous l'affleurement de la lentille de marbre. Longue de 124 m. en 1827, elle a été reprise en 1851 pour explorer une zone pyriteuse (de 25 m. sur 7 m.) sur laquelle s'étaient arrêtés les anciens. La pyrite, accompagnée d'oligiste, imprégné ici un skarn verdi à scheelite abondante (0,1 à 0,3 mm), magnétite, pyrrhotine et chalcoppyrite, dont un échantillon a donné 0,53 % WO₃. Cette roche pyriteuse disparaît vers l'est probablement par faille (nord-nord-est, pendage à 50_G E) sous le calcaire marmorisé très disloqué.

- L'autre (Galerie Inférieure), située 15 m. plus bas (cote 530), longue de 160 m., donne une bonne coupe des tufs kératophyriques du mur : tufs sombres de type andésitique d'abord, recoupés par un filon nord-ouest de minette et comportant deux passages riches en ouralite, puis plus siliceux, et se terminant par des tufs clairs à quartz rhyolitique, surmontés directement par la grenatite hématisée (1). Mais, elle ne montre pas de minéralisation.

L'examen des déblais de ces deux galeries montre la présence, dans la pyrite, d'inclusions de magnétite, pyrrhotite, chalcoppyrite et parfois cubanite. La scheelite, ainsi qu'une partie de ces minéraux, appartient à une première phase de minéralisation, contemporaine de la formation du skarn, à laquelle se rattache aussi la molybdénite, assez fréquente et très fine. Au contraire la grande masse de la pyrite, et l'oligiste qui l'injecte correspondent à une deuxième phase minéralisée, qui s'accompagne ici d'un peu de fluorine.

On retrouve donc à l'Evêché, le même type de minéralisation qu'aux Minières et que dans l'alignement Mine Grise-Mine Jaune. Par ailleurs, la disposition du gisement, dans une série à pendage nord, évoque celle des Minières, bien qu'elle se situe plutôt en direction de l'alignement méridional (à peu près à la hauteur des travaux du Curé, de l'autre côté de la vallée de Framont)

(1) On ne voit pas ici le mince niveau de granaacke sombre qui forme ailleurs la transition entre les tufs kératophyriques et les skarns.

V - LES GITES FILONIENS

Nous ne nous étendrons pas sur les filons du district (Figure 2) qui n'entraient pas dans le cadre de notre étude et présentent une importance beaucoup moins grande tant du point de vue paragéométrique que du point de vue économique.

La production totale connue (au XIX^e siècle) en était d'une dizaine de milliers de tonnes au maximum, soit 8 à 9 fois moindre que les gisements stratiformes que nous avons étudiés plus haut.

Nous indiquons dans les deux tableaux ci-dessous, les principales données documentaires que nous avons pu recueillir sur ces filons (Figures 7 et 8).

I - FILONS DANS LA SERIE DEVONIENNE

Nom du Filon	Direction	Pendage	Puissance Moyenne	Longueur Explorée	Gangue	Minéralisation	Exploitation
<u>FRAMONT</u>							
Morveux (ou Bas-Dono)	N - S	W	1m.(0,5)	100 m.	Kératophyres	Hématite Cuivre gris (Chalcopyrite)	Travaux anciens repris en 1825-29 et 1841-42 - (Prod. = 100 T.) 2 Galeries d'allongement.
Sainte-Barbe	NW - SE	SW	0,40		Grauwackes et schistes (Quartz)	Oligiste cristallisé	Galeries 1824-1825.
Ardoisière de Rosa sur l'Eau					Kératophyres (Quartz)	Oligiste	1827 : TB de 6 m.
Jaune Bois	WNW-ESE	NNE	0,10 à 0,50	40 m.	Kératophyre et Minette	Oligiste écailleux	1836-37 TB de 60 m. et allongement de 40 m. Prod. = 6 Tonnes.
Malplaquet	WNW-ESE	NNE	0,15 à 1m.	20 m.		Oligiste écailleux	1837-38 TB de 6 m. avec allongement de 20 m. Prod. = 12 tonnes.
Voie Basse de Framont	WNW-ESE		0,80		Kératophyres et Schistes	Oligiste compact	

FILONS DANS LA SERIE DEVONIENNE (suite)

Nom du Filon	Direction	Pendage	Puissance Moyenne	Longueur Explorée	Gangue	Minéralisation	Exploitation
<u>EVECHE</u> Noire-Maison	NW - SE	72° NE	3 à 7 m.	200 m. (sur 50 m. hauteur)	Kératophyre Quartz - Calcite, Baryte	Oligiste Hématite rouge Pyrolusite (veins de 0,30 m. au toit)	Exploré de 1825 à 1834 et de 1839 à 1861 par 3 niveaux Prod. = 6.000 tonnes.
----- Passee-Labour	NW - SE?		,	130 m.		Hématite rouge Oligiste écailloux	Anciens travaux reprise en 1826-1828.: TB de 60 m. avec allongement de 130 m. et bure de 23 m. Prod. = 3 tonnes 5.
----- Russ	NW - SE	SW	0,5 à 0,6	108 m.	<u>Baryte</u>	Hématite rouge Oligiste écailloux	Affleurement barytiques (6m.) repris en 1828-1830 par TB de 8m. et allongement de 108 m.

II - FILONS DANS LE MASSIF GRANITIQUE DE ROTHAU

Nom des Filons	Direction	Pendage	Puissance Moyenne	Longueur Explorée	Hauteur Explorée	Gangue	Minéralisation	Exploitation
Baumwald (Grotte des Partisans) Les Housards Coutelle	NE - SW	60° NW	1m,50	30 à 40m.	60 m.	Minette Pegmatite Baryte	Hématite (Béryle - Molyb.)	Vieux travaux repris de 1818 à 1848 par 3 niveaux Prod. = 1.200 tonnes.
Minguette (4 filons parallèles)	ENE-WSW	80° SSW			30 m.		Hématite rouge Oligiste micacé Pyrite	Vieux travaux étendus & repris de 1836 à 1844. Prod. = 270 tonnes.
Remiansotte	Prolongement Ouest des filons de Minguette		0,15			Minette Quartz	- d° -	Prod. = 75 tonnes.
Saint-Nicolas Chaudroupré			0,4 à 0,50	115 m. 68 m.	20 m.			
Bacpré	NE - SW	NW	0,60	150 m.	50 m.	Minette Quartz	Oligiste Hématite rouge Pyrite	Anciens travaux repris jusqu'en 1845 par 2 niveaux. Prod. = 300 T.
Refingoutte (Lampenmatt ?)	NW - SE		0,2 à 0,25					
Spatsberg						Minette Quartz		2 niveaux d'exploration avant 1785.
Voete Basse de Rothau	NE - SW	NW	0,50	50 m.		Minette	Oligiste Magnétite Pyrite	1835-1842 ; TB de 18 m. avec allongement de 51 m. Prod. = 130 tonnes.
Wildersbach	NNE-SSW	70° SSE	1 m.	95 m.	20 m.		Hématite Sidérite Rancissite ?	Anciens travaux repris en 1836-38 ; TB de 16 m. à 2 niveaux. Prod. = 14 T.

VI - CONSIDERATIONS METALLOGENIQUES

A - TYPE DE GISEMENT

Le gisement de Framont Grandfontaine n'est pas un gîte de contact proprement dit. Il comporte :

- D'une part, un skarn ferrifère, riche en sulfures, assez éloigné du granite, et dans lequel certains silicates (grenat et hédénbergite), formés à haute température (de l'ordre de 400 à 500° ; cf. G. GUITARD et P. LAFITTE, 1958) ont subi une profonde transformation hydrothermale lors de la mise en place de l'oligiste et des sulfures de Fe, Cu, Bi, etc... (de 300° à moins de 100°, selon Lesniak, 1961)
- D'autre part, un chapelet d'amas irréguliers d'hématite, épigenisant dolomie ou calcaire le long d'une zone bréchifiée au contact du skarn. La magnétite, entièrement martitisée, occupe une place très réduite dans l'ensemble du gîte.

Au sur des amas d'hématite se trouvaient les skarns altérés, faiblement minéralisés en scheelite, et dont une partie était entraînée avec le minerai ; et ce sont ces skarns (la "mère de mine" des anciens) qui apportaient au minerai le tungstène apprécié par les métallurgistes de jadis.

Le minerai de fer exploité par les anciens dans ces amas était essentiellement de l'hématite, très pauvre en titane comme il est de règle pour ce type de gisement (Schneiderhöhn, 1955) ; l'analyse d'un échantillon de minerai riche, conservé à la collection de l'Ecole des Mines a donné les résultats suivants :

$\text{Fe}_2 \text{O}_3$	85,6 %	}	Fe total : 62,4 %
Fe 0	3,2		
Si O_2	6,1		
Ti O_2	0,01		
Mn 0	0,07		
$\text{P}_2 \text{O}_5$	Traces		

(Analyse B.R.G.M. n° 3.100 du 21/2/62).

L'étude spectrographique comparée de trois échantillons d'hématite dont l'un (n° 1) provient des Minières (S 6 ; 18,40 m) et les deux autres de la collection de l'Ecole des Mines avec une localisation imprécise (Framont n° 2 : Oligiste fibro-radié et écailleux ; n° 3 : Minerai métallurgique riche, Exposition 1867), a donné les résultats suivants (en millionièmes) (1).

	N° 1	N° 2	N° 3
Ti	> 240	> 240	40
Mn	1.900	2.000	350
V	270	200	< 10
Zn	75	75	312
Cu	43	95	360
Cr	< 7	< 7	< 7
Ni	60	50	55
Ga	30	43	60
Mo	< 10	< 10	> 10
Be	18	270	non décelé
W	1.080	2.040	136

(1) Analyse faite au laboratoire du B.R.G.M. sous le contrôle de J. Moatti.

On remarque la pauvreté en Cr, et en Ni. Les teneurs en Be, Mn, V et Cu invitent à rattacher ces hématites, les unes au type pneumatolytique de contact (n° 1 et 2), l'autre au type hydrothermal (n° 3) de Hagemann et Albrecht (1954). Il semble ainsi y avoir un apport pneumatolytique plus marqué aux Minières qu'à la Mine Grise (d'où provient sans doute l'échantillon n° 3) ; ce phénomène est probablement en relation avec la transformation en greisen de certains tufs kératophyriques proches des Minières (Haut-Donon).

B - GENESE DU GISEMENT

Les skarns métallifères de Grand-~~Schaltens~~ sont nés, sous l'influence d'un magma granitique voisin (prolongement du granite de Kagenfels ?), aux dépens de sédiments mixtes volcano-sédimentaires, vraisemblablement assez proches des Schalsteine . Ils forment un horizon principal relativement constant et continu, interstratifié entre une série de tufs kératophyriques et kératophyres (avec intercalations d'andésites et de tufs basiques) au mur, et une série sédimentaire (dolomie et grauwackes) au toit. La dolomie lenticulaire qui apparaît immédiatement au toit des skarns s'est prêtée à la mise en place tardive des amas d'hématite, et localement de pyrite, qui ont fait l'objet d'exploitations anciennes.

La formation de ces skarns a succédé à un métamorphisme de contact, d'ailleurs léger, qui s'est traduit par l'apparition d'un peu de biotite verte et de hornblende verte dans les laves et les tufs du mur, (1), et parfois de phlogopite dans les dolomies du toit. Une pneumatolyse légère a provoqué localement la transformation des tufs les plus acides en un greisen fin à muscovite et quartz.

(1) Avec prédominance de biotite dans les termes acides, et de hornblende dans les termes plus basiques, conformément aux observations faites ailleurs par F. Perrin (1957).

La phase principale de développement des skarns a été suivie d'une phase de silicification et d'hydroxylation extrêmement importante, au cours de laquelle s'est mis en place l'essentiel de la minéralisation ferrifère et polymétallique.

On peut schématiser ainsi la succession des phénomènes, qui ont contribué à l'élaboration des skarns tels que nous pouvons les observer aujourd'hui :

- 1° - Formation des skarns; minéralisation en scheelite . Développement de grenat (grossulaire - andradite), hédénbergite et scheelite ; apparition connexe de pyrrhotite, magnétite, chalcoppyrite (à étoiles de blende), cubanite, parfois molybdénite.
- 2° - Transformation des skarns; minéralisation ferrifère et polymétallique . Développement d'ouralite, dolomie, chlorite, épidote et hématite aux dépens des silicates précédemment formés. Dépôt de quartz, orthose, apatite, adulaire, calcite et fluorine ; exceptionnellement de topaze, de phénacite ; et, dans certains facies proches du mur, de préhnite, actinote, zoisite, clinozoisite, sphène, albite. Transformation de la pyrrhotite en pyrite, de la magnétite en martite, Dépôt massif de pyrite et surtout d'oligiste, avec enrichissements locaux en cuivre (chalcoppyrite, cuivre gris, bornite), et en bismuth (bismuthinite, bismuth natif, emplectite, tétradymite, wittichenite, etc...), en liaison avec des veines de quartz à pyrite. (1).

La fin de cette phase hydrothermale comporte un dépôt très discret de quartz, calcédoine, fluorine, calcite, et pyrite, remplissant des fissures tardives.

Les déformations subies par les skarns en cours de minéralisation sont nombreuses, très souples apparemment lors de la première phase, cassantes au contraire pendant la deuxième phase. Ultérieurement, se sont produites des fractures plus importantes, dont certaines empruntées par des dykes de minette. Les principales limitent, au N et au S-Sd de Framont-Grandfontaine, le horst de Dévonien plissé.

(1) Un peu de scheelite, tardive ou remaniée, jalonne ces veinules de quartz à pyrite.

C - ORIGINE ET AGE DE LA MINÉRALISATION

Nous avons fait allusion plusieurs fois aux filons ferrifères de Rothau, avec lesquels la minéralisation de Framont présente plus d'un trait de parenté. Quelques précisions à leur sujet ont été données dans le tableau de la page 70. On se reportera pour plus de détails à la description de Miller (1905). Rappelons qu'il s'agit d'un essaim de filons assez minces, (puissance inférieure au mètre), orientés NE à ENE, encaissés dans le granite du Champ du Feu ou dans son faciès à enclaves (granite de Serva), généralement à l'éponte de dykes de microgranite ou de minette ; ainsi les cassures ayant servi à la mise en place de ces roches ont joué lors du dépôt de la minéralisation. Celle-ci comporte une phase précoce à tourmaline aciculaire, de teinte verte, intimement associée à la magnétite, avec quartz, apatite et parfois pyrite. La phase principale, qui lui succède, se traduit par un développement d'oligiste, remplaçant partiellement la pyrite et provoquant la martitisation de la magnétite ; elle se termine par la mise en place d'une seconde génération de pyrite (en fines veinules), d'un peu de chalcoppyrite et de fluorine.

Ce bref aperçu suffit à montrer la parenté métallogénique qui lie Rothau et Framont ; soulignons en particulier la succession d'une phase à magnétite et d'une phase à oligiste, terminée par un dépôt de fluorine. Framont présente, il est vrai, une plus grande complexité minéralogique et chimique (plus grande abondance de cuivre, présence de bismuth) (1). Par ailleurs, Rothau contient de la tourmaline associée à la magnétite de première phase, alors que ce minéral est inconnu à Framont.

Néanmoins, il est évident que ces deux gisements distants de 8 km, l'un de type skarn, l'autre en filons dans le granite, appartiennent au même phénomène métallogénique, en liaison probable avec l'intrusion du granite de Kagenfels,

(1) Il faut cependant tenir compte du fait que Rothau est relativement moins bien connu que Framont. Le dernier travail d'ensemble sur la minéralisation de Rothau est celui de François (1962).

le plus tardif et le plus riche en minéralisation (1) des granites de notre secteur. Les autres indices de scheelite connus dans cette région des Vosges se situent d'ailleurs au voisinage d'intrusions du même type (granites de Raon l'Etape et de la Grande Fosse).

L'âge du granite de Kagenfels étant post-westphalien et vraisemblablement permien, il y a lieu de croire que la minéralisation de Framont et celle de Rothau sont aussi permienne.

Contre cette hypothèse, on objectera sans doute, du moins en ce qui concerne les skarns de Framont, leur éloignement apparent par rapport au granite de Kagenfels (6 km). Mais la carte (Figure 2) montre que l'intrusion du Kagenfels forme une bande de direction E.SE dont le prolongement occidental passe non loin de l'aplomb des Minières. Par ailleurs, les skarns intéressants pour leur minéralisation sulfurée sont des formations relativement tardives, qui n'apparaissent pas forcément au contact du granite responsable ; Ils sont dus en effet à la percolation, à travers les calcaires préalablement marmorisés, d'une phase acide riche en fer et en silice, libérée lors de la solidification du magma (Ponteilles, 1962) ; on peut donc s'attendre à les trouver à différents niveaux de la série volcano-sédimentaire surmontant une intrusion granitique aveugle.

(1) Rappelons à ce sujet la fréquence de la fluorine et la tendance miarolitique que nous avons signalées au Chapitre I .

BIBLIOGRAPHIE

- AUBOIN Y. (1961) - Propos sur les géosynclinaux - B.S.G.F. 7^e s., t. III, pp. 675 - 680.
- BEAUMONT E. de (1822) - Notice sur les mines de fer et les forges de Framont et de Rothau. Ann. Min. (1), VII, pp. 521 - 554.
- BEAUMONT E. de (1833) - Sur les gîtes de fer de Rancié et de Framont - Bull. Soc. Géol. Fr. (1), III - p. 249;
- BERTHIER P. (1824) - Minéral de cuivre de Framont - Ann. Min., (1), IX - p. 809.
- BERTRAND E. (1877) - Topas von Framont. Zeit. für Krist und Min, T 1 - p. 297.
- BEUS A. A. (1962) - Beryllium Evaluation of deposits during prospecting and exploratory work (traduit du russe) - Freeman and Co, San Francisco.
- BEYRICH E. (1835) - Nähere bestimmung des phenakits nach einem neuen vorkommen - Pogg. Ann. der Phys. und Chem. - XXXIV - p. 519. - Neues Jahrb. für Min. p. 467.
- BEYRICH E. (1838) - Über das Krystallsystem des Phenakits - Pogg. Ann. XLI - p. 323 - Neues Jahrb., p. 172.
- BILLY E. de (1841) - Description géologique des différents gisements de minerais de fer de Framont et de Rothau dans les Vosges. L'Institut - IX p. 142-144.

- BISHOP G. (1875) - Chemische Analyse des Phenakits - Pogg. Ann. XXXIV - p. 525-527 - Neues Jahrb. p. 467.
- BUCKING H. (1918-1920) - Beitrage zur Geologie des oberen Breuchstals in den Vogesen - Mitt. der Geol. Land von Elsass - Lothringen XII- p. 1.- 366.
- CALMETTE Dom A. (1748)- Histoire de Lorraine - Nancy.
- CALMETTE Dom A. (1756)- Notice de la Lorraine - Nancy.
- CARRIERE P. (1849) — Recherches sur la minéralogie des gîtes métallifères de Framont - Ann. Soc. Emul. Vosges. Epinal, VII, 1, p. 129 - 179.
- CARRIERE P. (1850) - Note complémentaire de la minéralogie des gîtes de Framont - Ann. Soc. Emul. Vosges, Epinal, VII, 1, p. 155 - 159.
- CARRIERE P. (1852) - Sur la scheelite dans le gîte métallifère de Framont - Ann. Soc. Emul. Vosges, Epinal, VIII, 1, p. 157-161.
- CARRIERE P. (1860) - Note complémentaire sur la minéralogie des gîtes de Framont. Ann. Soc. Emul. Vosges, Epinal, XII, 2, p. 155 - 159.
- DAUBREE A. (1850) - Sur la présence du bismuth natif dans le minerai de fer de Framont - B.S.G.F. (2), VII , p. 352.
- DAUBREE A. (1857) - Sphères dans les gîtes ferrifères de Framont - l'Institut, XIV, p. 38.
- DES VOLOIZEAUX A. (1886) Note sur la phénacite du Colorado et de Framont . B.S.F.M., IX, p. 174.
- DELESSE A. (1853) - Terre verte de Framont - Ann. Min. (5) IV, p. 351.

- DIETRICH Ph. Fr de (1789) - Description des gîtes de minerais, forges, salines, verreries, etc... de la Haute et Basse-Alsace - Paris -
- DUBOIS G. et C. (1955) - La géologie de l'Alsace - Mem. Ferv. Carte Géol. Als-Lor. n° 13.
- ELLER J.P. Von (1959) - Contribution à l'étude des facies marginaux de granite de Natzwiller et du granite de Kagenfels (Champ du Feu). Cortèges filoniens - Bull. Serv. Carte Géol. Als-Lor. T 12, Fasc. 2, P. 85 - 96.
- ELLER J.P. Von (1960) - Développement subvolcanique et volcanique d'un granite hercynien des Vosges septentrionales : le granite du Kagenfels - Rev. Géog. Phys. Géol. Dyn., 2° s. Vol. III, fasc. 2, p. 101 à 107.
- FONTEILLAS M. (1962) - Contribution à l'étude des skarns de Kamioka, Préfecture de Gifu, Japon - Journ. Fac. Sci. Tokyo. Sec. II, Vol. 14, pt.1, p. 152 - 227.
- FOURNET J.J. (1835) - Etude sur les dépôts métallifères, in Burat, Traité de Géognosie, T. III, p. 383 - 621.
- FRIEDLANDER C.
&
NIGGLI P. (1931) - Beitrag zur Petrographus der Vogesen. Bul. suisse Min. et Petr. XI, p. 365 - 411.
- GEOFFROY J. (1953) - Les minéralisations du granite et du complexe métamorphique de Raon-l'Etape (Vosges) - C.R.Ac.Sc. (23 Mars 1953).
- GLASS J.J.
JAHS R.H.
STEVENS R.E. (1944) - Helvite and danalite from New Mexico and the helvite group - Amer. Mineralog. Vol. 29, n° 5 - 6. p. 163 - 191.
- GRAVIER (1836) - Histoire de Saint-Dié - Epinal.

- GUITARD G. (1958) - Les calcaires métamorphiques et les skarns du Pic de Costabonne (Pyrénées-Orientales) - Sciences de la Terre, T. VI, n^{os} 1 - 2, p. 57 - 137.
&
LAFFITTE P.
- HEE A., COCHE A. (1957) - Détermination de l'âge absolu de deux granites de la chaîne des Vosges - Ann. Geoph. T 13, n° 2, p. 135 - 152.
JAROVY M. et
KRAEMER R.
- HEGEPIANN F. (1954) - Zur Geochemie oxydischer Eisenerze - Chemie der Erde, T. 17, p. 81 - 103
&
ALBRECHT F.
- HOGARD H. (1845) - Aperçu de la constitution minéralogique et géologique du département des Vosges, in Statistique du département des Vosges - Epinal.
- JEREMINIE E. (1933) - Roches et minéraux de Raon l'Etape (Vosges) C.R. 66^e Cong. Soc. Sav., p. 161 - 167.
- JUNG J. (1928) - Contribution à la géologie des Vosges Hercyniennes d'Alsace. Mem. Serv. Carte Géol. Als-Lor. n° 2 -
- KENIGOTT A. (1859) - Zwillinge des Scheelits von Framont - Übers. der Res. Min. Forsch. p. 34.
- LACROIX A. (1893-1913) - Minéralogie de la France et de ses colonies - 5 Vol.-Paris -
- LAUNAY L. de (1913) - Traité de métallogénie - Paris -
- LESEJAK V.F. (1961) - Quelques particularités de la formation des complexes skarnitiques minéralisés. Min. Sbornik, n° 15, p. 129-137.
- MULLER F.TH. (1905) - Die Eisenerz Lagerstätten von Rothau und Framont im Breuschtal (Vogesen). Mitt. Geol. Landes von Els-Lothr. V.4, p. 417.

- NICOLAS A. (1961) - Granites et diorites de la région de Sénonès (Vosges)
Bull. S.G.F., (7), T. III, n° 4, p. 397.
- PERMINGEAT F. (1957) - Le gisement de molybdène, tungstène et cuivre d'Azegour
(Haut Atlas). Notes et Mem. Serv. Géol. Maroc,
n° 141, Rabat.
- POUGH F.H. (1936) - Phenakit, seine Morphologie und Paragenesis -
Neues Jahrb fur Min. Abt. A, 71, p. 291 - 341.
- PUTON E. (1835) - Excursion géologique à Hangenbieten, Framont, Rothau,
Champ du Feu et Barr - B.S.G.F. (1), VI, p. 37 - 49
- RUDNIK V.A. (1961) - Développement des idées concernant la formation des
skarns (en russe) - Min. Sbornik, n° 2, p. 83 - 107.
- SCHNEIDERHOHN H. (1955) - Erzlagerstätten Kurzvorlesungen, - P. 91 - 94 -
Stuttgart.
- SCHWEITZER J. (1892) - Krystallographische Beschreibung des Eisenglanzes und
Fahlerzes von Framont - Mitt. der Geol. Land. von
Els-Lothr. III, p. 159 - 195.
- STOBER F. (1894) - Aragonite von Markirch und Framont - Mitt. der Geol.
Land von Els-Lothr. IV, p. 113 - 142.
- UNGEMACH H. (1909) - Notes cristallographiques sur la fluorine vosgienne.
B.S.Fr. Min, 32, p. 304 - 313.
- UNGEMACH H. (1936) - Minéraux de l'Alsace - Bull. Ass. Phil. A-L. , 8,
p. 227 - 245.
- URBAN K. (1892) - Chemische Zusammensetzung des Fahlerzes von Framont.
Mitt der Geol. Land. Von Els-Lothr, III, p. 196 - 198.
- VOLTZ L. (1834) - Ueber die Einwirkung von Porphyrgängen auf Schiefer
und Kalkstein bei Framont und Les Minières - Neues
Jahrb. fur Min. p. 699.

- WAGNER W. (1923) - Gliederung und Lagerung des Devons im Breuschtal der Veesen. Mitt. der Geol. Land von Els-Lothr. XI, 2, P. 67 - 152.
- WEILL R. (1936) - Sur la présence de l'adulaire dans la grotte des Partisans. B. Serv. Carte Géol. A-L., T. III , p. 27 - 28.
- WEILL R. (1950) - Catalogue des espèces minérales d'Alsace -
&
JAROVY M. Bull. Serv. Carte Géol. A-L - T. 6 -

DOCUMENTS INEDITS

ARCHIVES DEPARTEMENTALES DES VOSGES (Préfecture d'Epinal : 399 S 1-2)
ET DU BAS RHIN (Préfecture de Strasbourg : G. 1.158 à 1.161 et 1979 - 1.980)

ARCHIVES DU SERVICE DES MINES et du B.R.G.M.

BRANDY P. (1957) - Mémoire de l'état des recherches dans les Vosges
&
SAINFELD P. au 1er Juillet 1957. Rapp. B.R.G.M. A. 1162.

BRANDY P. (1957) - Mission des Vosges et état des travaux au 1er novembre
&
SAINFELD P. 1957. Rapp. B.R.G.M. R. 7000.

BERTRANEU J. (1961) - Programme de travaux miniers à Grandfontaine -
SAINFELD P.
SAVEROT R. &
SINGER R. Rapp. B.R.G.M. R. 1000.

BURNOL L. (1952) - Note sur la molybdénite et la scheelite de Raon l'Etape
&
LOUGHON J. (Vosges). Rapp. B.R.G.M. A. 305.

BURNOL L. (1954) - Etude des anciennes mines de Framont et de l'Evêché.
(Bas-Rhin) et de leur minéralisation en tungstène.
Rapp. B.R.G.M. A.659.

FRANCOIS J. (1962) - Etude métallogénique et pétrographique de la région
de Schirmeck (Vosges septentrionales) - Thèse 3^e cycle
Fac. Sci. Nancy.

GUITARD G. (1960) - Note sur la constitution pétrographique des skarns
minéralisés du gîte des Minières, près Grandfontaine
(ou Framont) dans les Vosges. Rapport B.R.G.M. A.1587

- MUNCK P. (1953) - Prospection electromagnétique dans la région de Schirmeck (Bas-Rhin). Rapp. B.R.G.M. A.616
- MUNCK F. (1958) - Framont-Grandfontaine - Prospection géophysique - Rapp. B.R.G.M. A. 1312.
- SAINFELD P. (1958) - Note complémentaire au sujet de Framont Grandfontaine (Bas-Rhin) Rapp. B.R.G.M. A. 1285.
- SAINFELD P. (1958) - Résultats de la campagne de sondages de Framont Grandfontaine (été 1958) Rapp. B.R.G.M. A.1388.
- SAINFELD P. (1962) - Note sur les travaux miniers de Grandfontaine (Bas-Rhin). Rapp. B.R.G.M. R. 1003.
- SINGER R. (1961) - Exposé des données techniques de la première phase de travaux miniers. Rapp. B.R.G.M. R. 1002.

A N N E X E

REPARTITION DE WO_3 ET DE BeO DANS LES TRAVAUX FAITS PAR LE B.R.G.M. A LA COTE 529 DU QUARTIER DES MINIERES

Dans le traçage et les recoupes faites par le B.R.G.M. au niveau 529 (Figure 9), deux sortes d'échantillons ont été prélevés :

- d'une part les boues de foration ;
- d'autre part, les terres de volée, prélevées à raison d'une pelle sur dix.

Pour les sondages intérieurs, faits à partir du traçage ou des recoupes, on a prélevé les boues de foration.

L'ensemble, soit 194 échantillons de boues de foration (B) et 64 échantillons de terres de volée (P), a fait l'objet d'un dosage chimique de WO_3 et spectrographique de BeO .

La comparaison des résultats obtenus sur les skarns par les boues et par les terres montrent que la concordance est assez bonne en ce qui concerne WO_3 .

	B	P
WO_3 : Teneurs extrêmes	0,01 et 0,43 %	0,02 et 0,39 %
— Teneur moyenne	0,13	0,14
— Teneur la plus fréquente	0,04	0,06

Ainsi la minéralisation en WO_3 est assez régulièrement dispersée au sein des tufs (sous forme de veinules à quartz, pyrite et scheelite), alors que celle en BeO semble liée aux intercalations de pseudo-skarn.

2° - Les passées lenticulaires des pseudo-skarns qui apparaissent au sein des tufs varient de :

0,02 à 0,23 % WO_3 mais dépassent rarement 0,07 % WO_3
(teneur moyenne : 0,10 % - Teneur la plus fréquente : 0,04 %).

Leur teneur en BeO varie de 0,007 à 0,034 %
(teneur moyenne : 0,006 % BeO - Teneur la plus fréquente : 0,011 %).

Ainsi la teneur la plus fréquente en BeO dans les passées de pseudo-skarn est bien supérieure à ce qu'elle est dans les tufs voisins (0,011 % contre 0,002 %), alors que pour WO_3 les deux chiffres sont très proches (0,04 % contre 0,03 %). Les passées de pseudo-skarn dans les tufs jouent donc le rôle de piège pour BeO beaucoup plus nettement que pour WO_3 .

3° - Les gneiss qui apparaissent au sur des skarns tiennent :

0,02 à 0,05 % WO_3 et 0,0010 à 0,0025 % BeO.

4° - Les skarns, sur lesquels nous avons le plus grand nombre d'analyses, montrant une divergence entre les échantillons de boues de forations et ceux prélevés sur la volée. Si on ne tient compte que de ces derniers, la teneur en WO_3 varie de 0,02 à 0,39 % (teneur moyenne : 0,14 % ; teneur la plus fréquente : 0,06 %) et la teneur en BeO de 0,006 à 0,050 % (teneur moyenne : 0,022 % ; teneur la plus fréquente : 0,011 %).

Il est intéressant de remarquer que les enrichissements en WO_3 et surtout en BeO correspondent : soit à certaines zones faillées. (Une de ces zones, de 4 m de largeur, est traversée par le tracé principal entre les recoupes R 3 et R 5, avec 0,36 % WO_3 et 0,24 % BeO ; échantillons 32 à 36).

Le tableau ci-dessus rassemble les résultats précédents. On constate que les plus fortes teneurs moyennes en WO_3 et en BeO se rencontrent au sommet des skarns, près du contact avec la dolomie, tandis que les plus fortes teneurs isolées en WO_3 et en BeO sont liées à des zones fracturées au sein des skarns.

D'une façon générale, BeO est moins régulièrement réparti que WO_3 .

II - LE PROBLEME DES PORTEURS DE Be.

L'examen au béryllomètre des carottes de sondages a permis d'isoler trois zones particulièrement riches en béryllium : S 6 bis de 31,15 à 31,30 m ; S 6 bis de 24,25 à 24,75 m ; et S 6 de 69,20 à 69,40 m. L'étude en lame mince des échantillons correspondants y suggère la présence de bertrandite $Be_4(OH)_2Si_2O_7$ (étude en cours). Mais la phénacite $Be_2(SiO_4)$, connue autrefois à la Mine Jaune, n'a pas été retrouvée : on n'a pas trouvé non plus jusqu'ici de minéraux du groupe helvite - danalite.

On peut cependant remarquer que la fluorine est abondante dans certaines lames ; d'après G. Guitard (1960) la formation de la fluorine est tardive, postérieure à celle du quartz et de la calcite. On reconnaît aussi la présence d'adulaire, également tardive, et connue jadis à la Mine Jaune comme la phénacite.

Or, d'après A.A. Beus (1962) l'apport de Be dans les skarns riches en fer se fait toujours tardivement, en même temps que celui du fluor. Mais si le milieu est trop riche en silice, ce qui semble malheureusement être le cas ici, où intervient une intense silification tardive, Be tend à rester dans les silicates. J.J. Glass et Alt (1944), étudiant les skarns béryllifères d'Iron Mountain (Nex Mexico) ont reconnu la présence de BeO en quantité dosable spectrographiquement dans une variété d'idocrase aciculaire vert pâle (0,80 à 1,30 % BeO), dans un grenat proche du grossulaire (0,08 à 0,19 % BeO), et dans une chlorite verte de type thuringite (teneur non précisée).

Ici l'idocrase est absente, mais les grenats de la série grossulaire-andradite et les chlorites qui en dérivent sont abondants. Nous admettrons donc que Be peut se dissimuler en partie dans ces grenats et ces chlorites, et peut-être aussi dans des minéraux secondaires autres que les chlorites et non encore identifiés.

Sur le plan économique, il semble bien qu'il y ait peu de chance de trouver à Grandfontaine une concentration de béryllium : on ne connaît pas en effet au contact de la dolomie du toit, de dépôt rubané à fluorine et magnétite, faciès classiquement associé à ce genre de concentration (Beus, 1962).

#

PLANCHES MICROPHOTOGRAPHIQUES

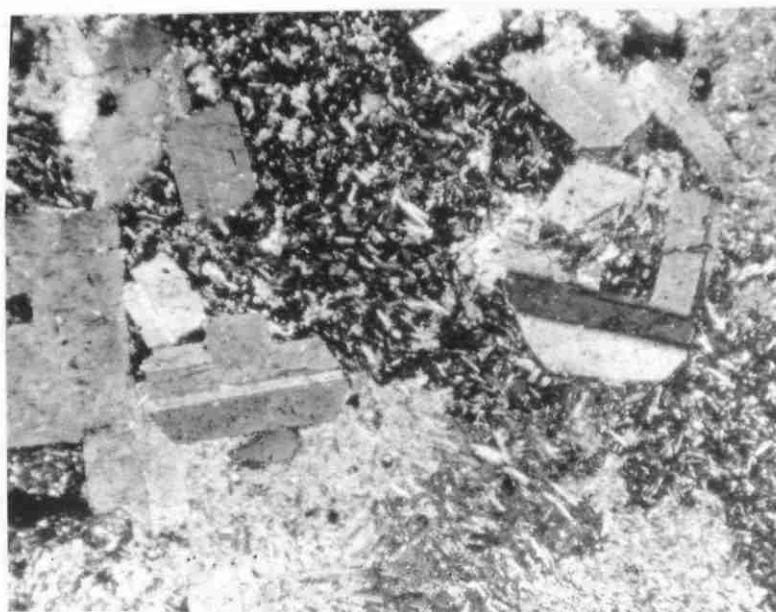
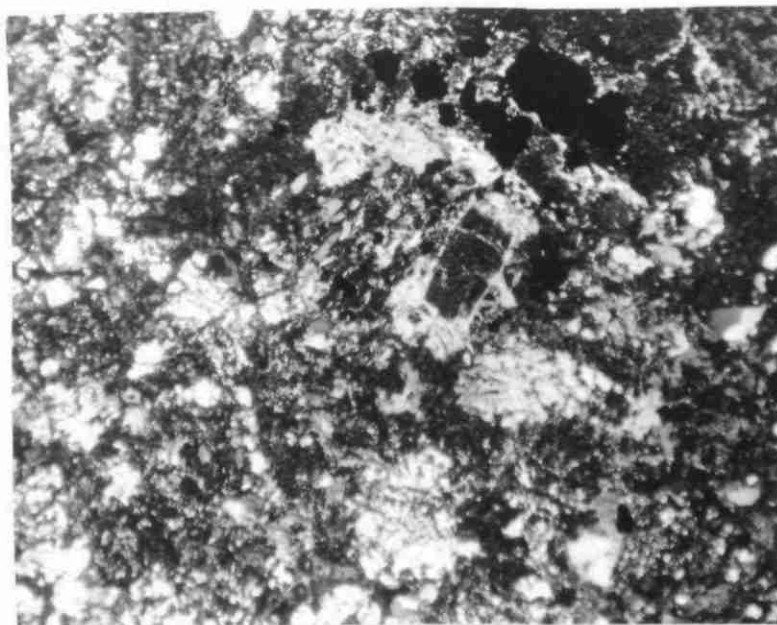


PLANCHE I

PLANCHE I

- 1 - GALERIE DE LA CHAPELLE - Kératophyre gris-vert au toit des skarns -
Structure de recristallisation "en boulettes" de la pâte du kéra-
tophyre; chaque boulette est constituée par une éponge de quartz,
à unité d'orientation optique, englobant de petites plages felds-
pathiques.

L.M. A 5494 , nicols croisés, gr. 37.

- 2 - LES MINIERES, travaux B.R.G.M., allongement : 38,3 m - Filon de
kératophyre "grenu" - Structure de recristallisation donnant à
la roche un aspect grenu : un agrégat jointif de grands feldspaths
potassiques se superpose à la structure microlitique de la mésotase.

L.M. A 4927 , nicols croisés, gr. 37.

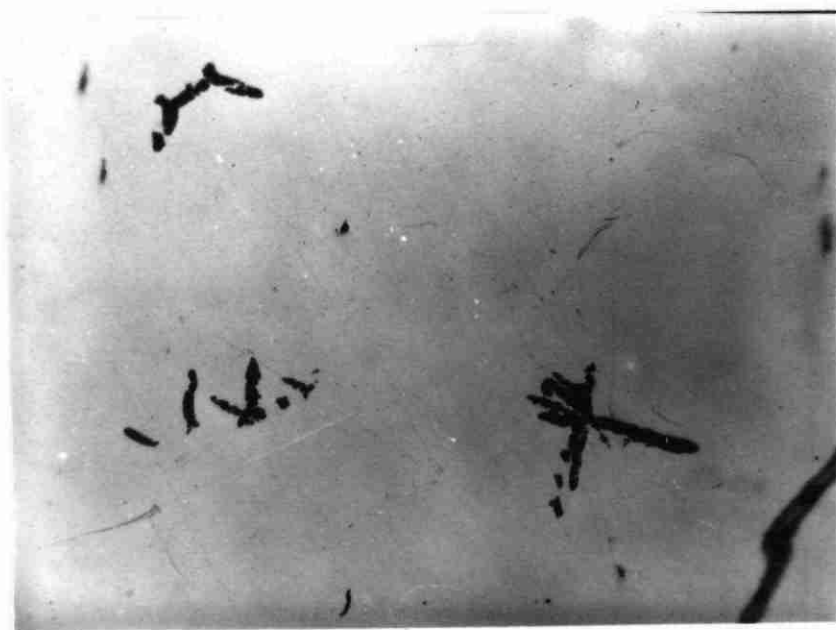


PLANCHE II

PLANCHE II

- 3 - BORNSTATT VINCENT - Scarn pyritisé - Structure "en œil de perdrix", due à la transformation de la pyrrhotine en une association de pyrite secondaire et d'un constituant gris anisotrope.

S.P. 2.503, lum. nat., gr. 50

- 4 - LES MINIERES, sondage S 6 bis, 20,70 m - Etoiles de blende dans la chalcoppyrite.

S.P. 2.327, lum. nat., gr. 240

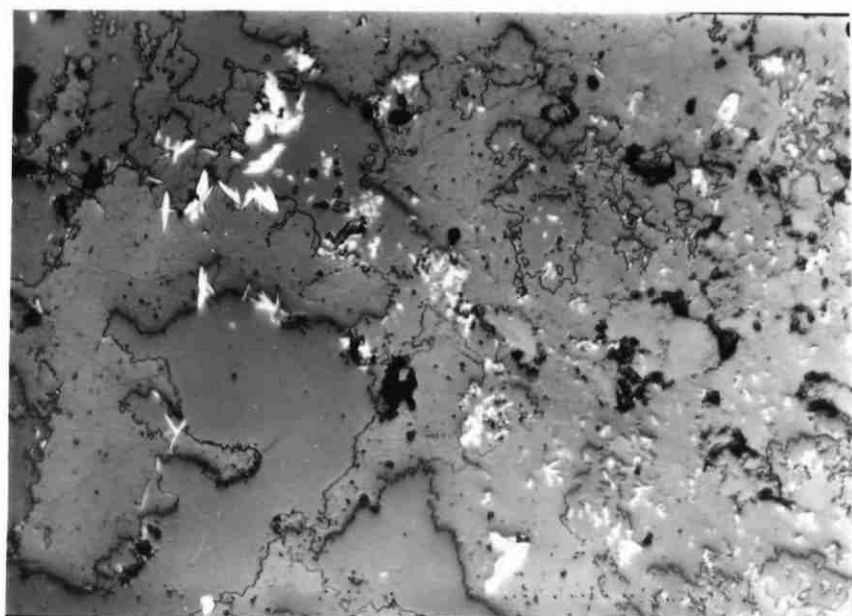
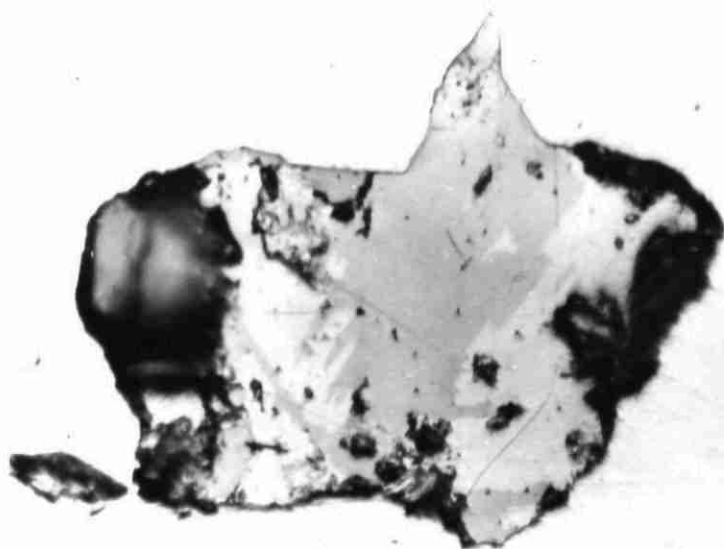


PLANCHE III

PLANCHE III

5 - LES MINIERES , sondage S 8, 189 m - Cubanite lamellaire (en gris sombre), associée à la chalcoppyrite (en gris clair), en inclusion dans la pyrite (en blanc).

S.P. 2.329 , lum. nat. , gr. 800

6 - LES MINIERES, sondage S 8 , 189 m - Association de calcite et de quartz avec dispersion d'oligiste en fines lamelles.

S.P. 2.329, lum. nat. , gr. 140

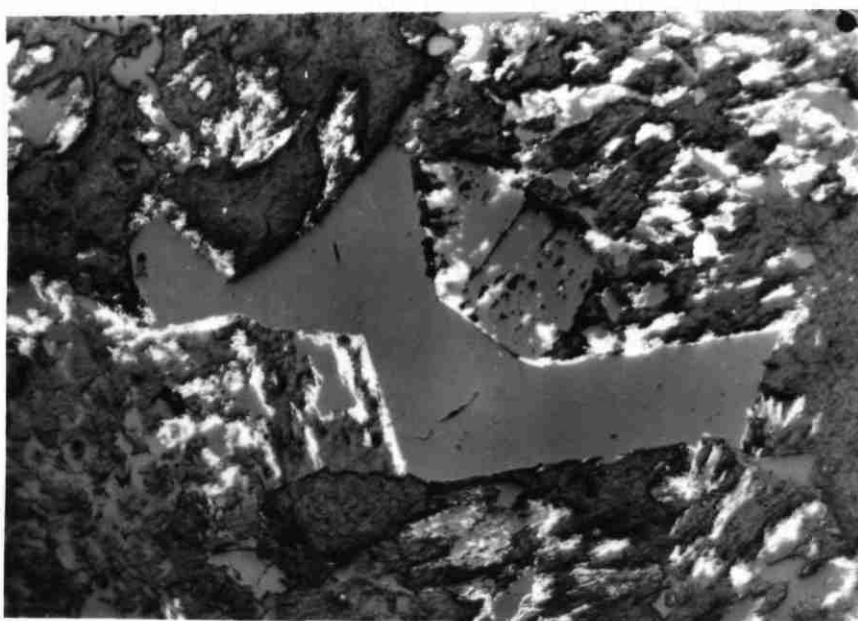
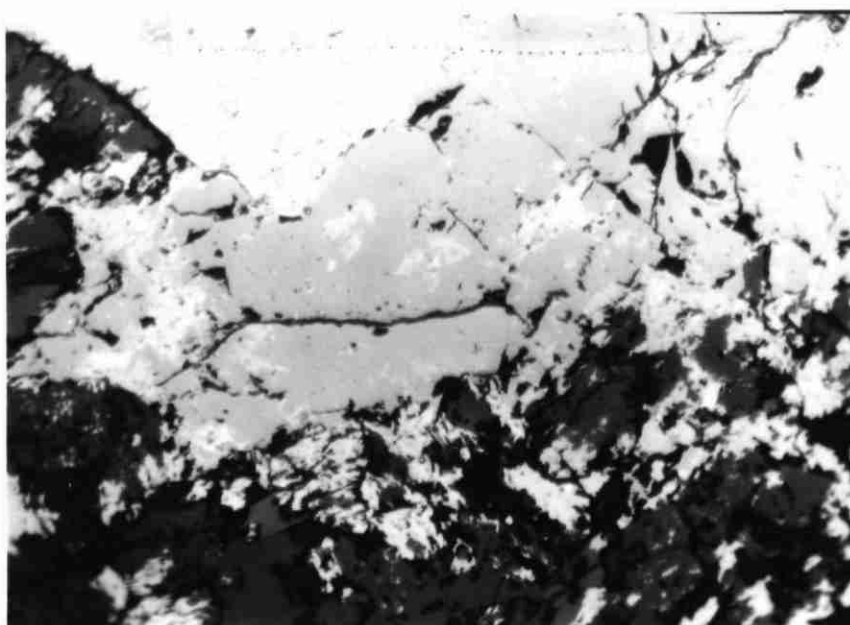


PLANCHE IV

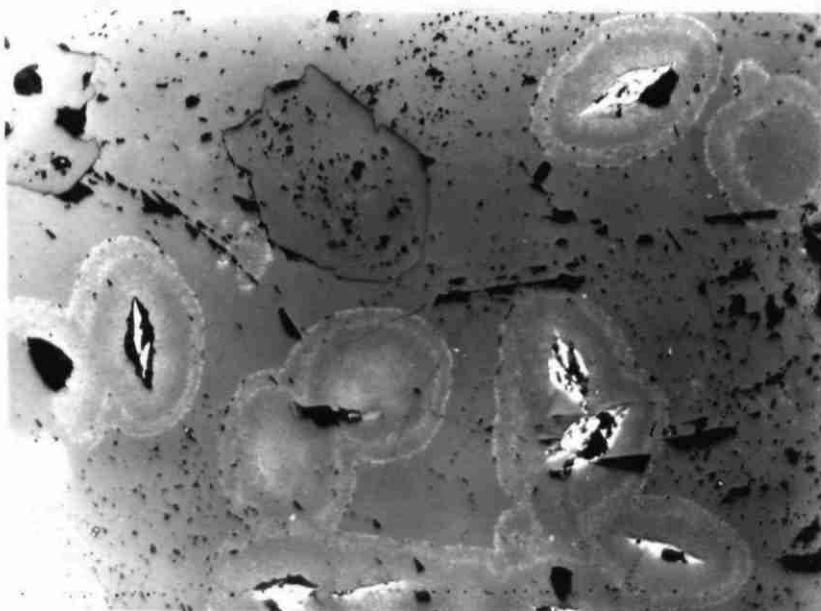
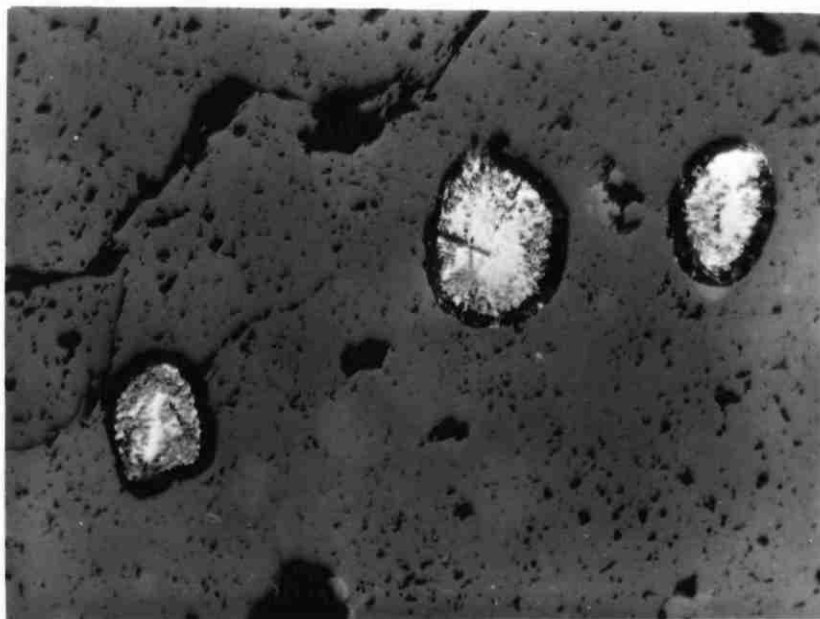
PLANCHE IV

- 7 - LES MINIERES, Travaux B.R.G.M., allongement : 95 m - Serau
hématisé - Magnétite (en gris sombre) partiellement hématisée,
et bordée d'oligiste foisonnant. Un grand cristal de pyrrhotine
pyritisée (en gris clair).

S.P. 2.509 , lum. nat. , gr. 140

- 8 - LES MINIERES, travaux B.R.G.M., allongement : 95 m - Serau
hématisé - Développement d'hématite (en blanc) aux dépens
du pyroxène ouralitisé. Calcite interstitielle.

S.P. 2.509, lum. nat. , gr. 140



PLANCIE V

PLANCHE V

- 9 - LES MINIERES, travaux B.R.G.M., allongement : 98,3 m -
Zone pyriteuse du toit (contact de la dolomie et des skarns) -
Hals ovoïdes d'oligiste rayonnant (en blanc), cernés de
limonite, au sein de la dolomie.

S.P. 2.529, lum. nat., gr. 140

- 10 - LES MINIERES, travaux B.R.G.M., allongement : 98,3 m -
Zone pyriteuse du toit (contact de la dolomie et des skarns) -
Halos limonitiques autour de rhombéedres d'oligiste épars
dans la dolomie. Deux plages de quartz.

S.P. 2.529, lum. nat., gr. 140

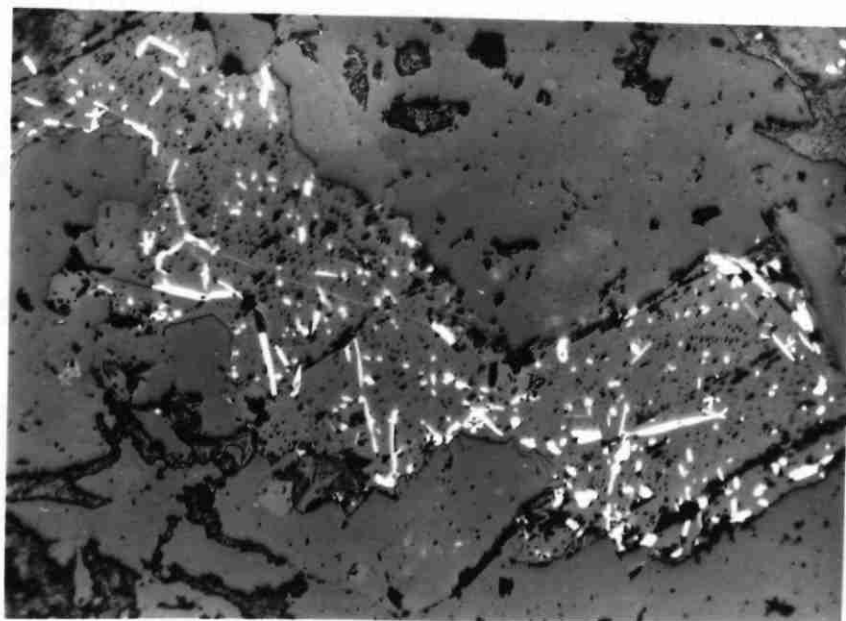


PLANCHE VI

PLANCHE VI

- 11 - LES MINIERES, travaux B.R.G.M., recoupe R 4 : 8,5 m -
Veine quartzeuse traversant les skarns - Bismuthinite
(en gris clair) remplaçant la pyrite (en blanc) avec
formation d'un constituant intermédiaire (en gris foncé).

S.P. 2.533, lum. nat. , gr. 140

- 12 - LES MINIERES, travaux B.R.G.M., recoupe R 4 : 10 m -
Veine quartzeuse traversant les skarns - Les plages de
dolomie sont constellées d'aiguilles d'emplectite (en blanc)
alors que le quartz en est exempt.

S.P. 2.533, lum. nat., gr. 140

Figure 1

DS.64.A33

CARTE GÉOLOGIQUE ET GITOLOGIQUE DE LA PARTIE SEPTENTRIONALE DES VOSGES HERCYNiennes

(d'après J.Jung.1926,simplifiée)

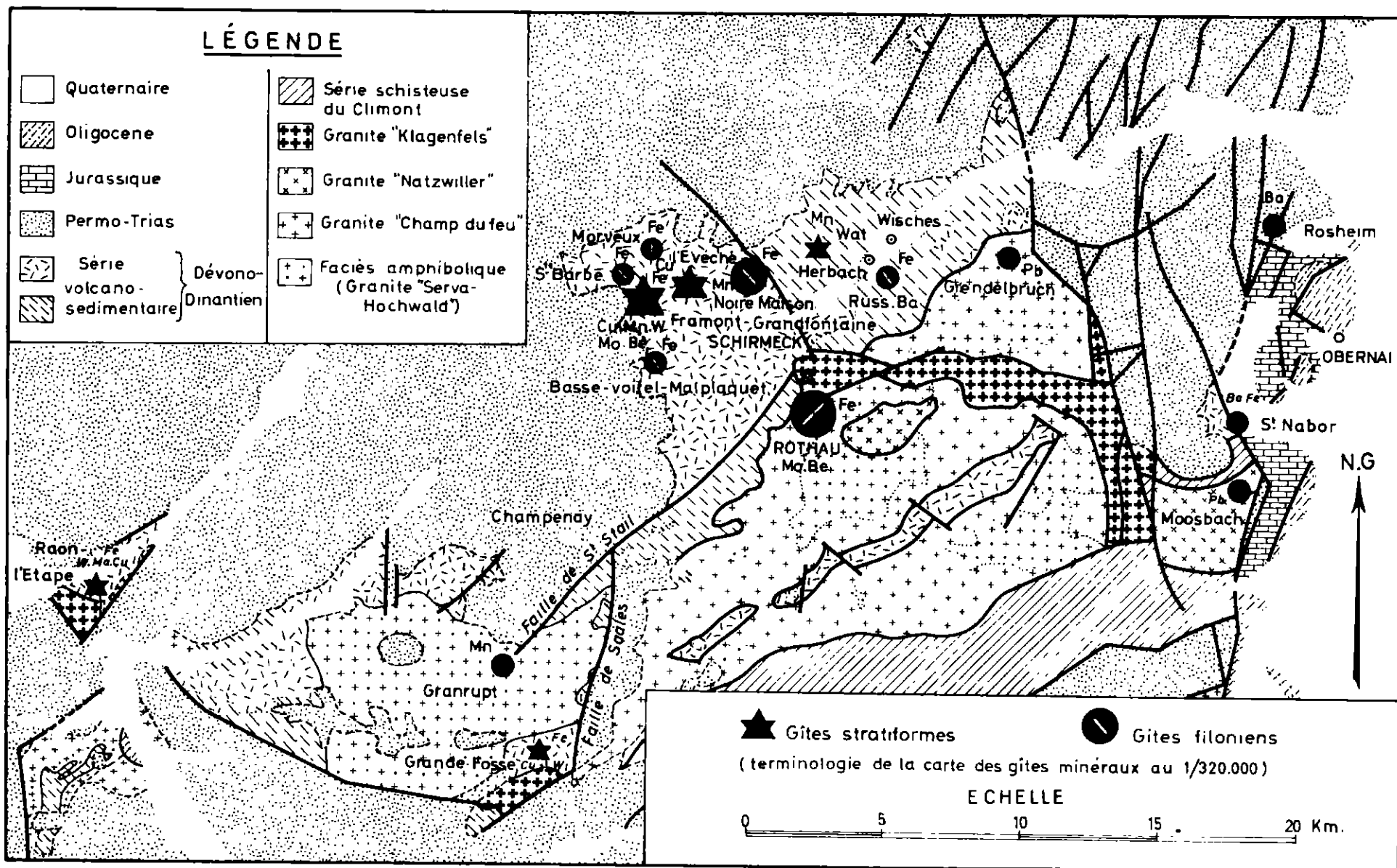
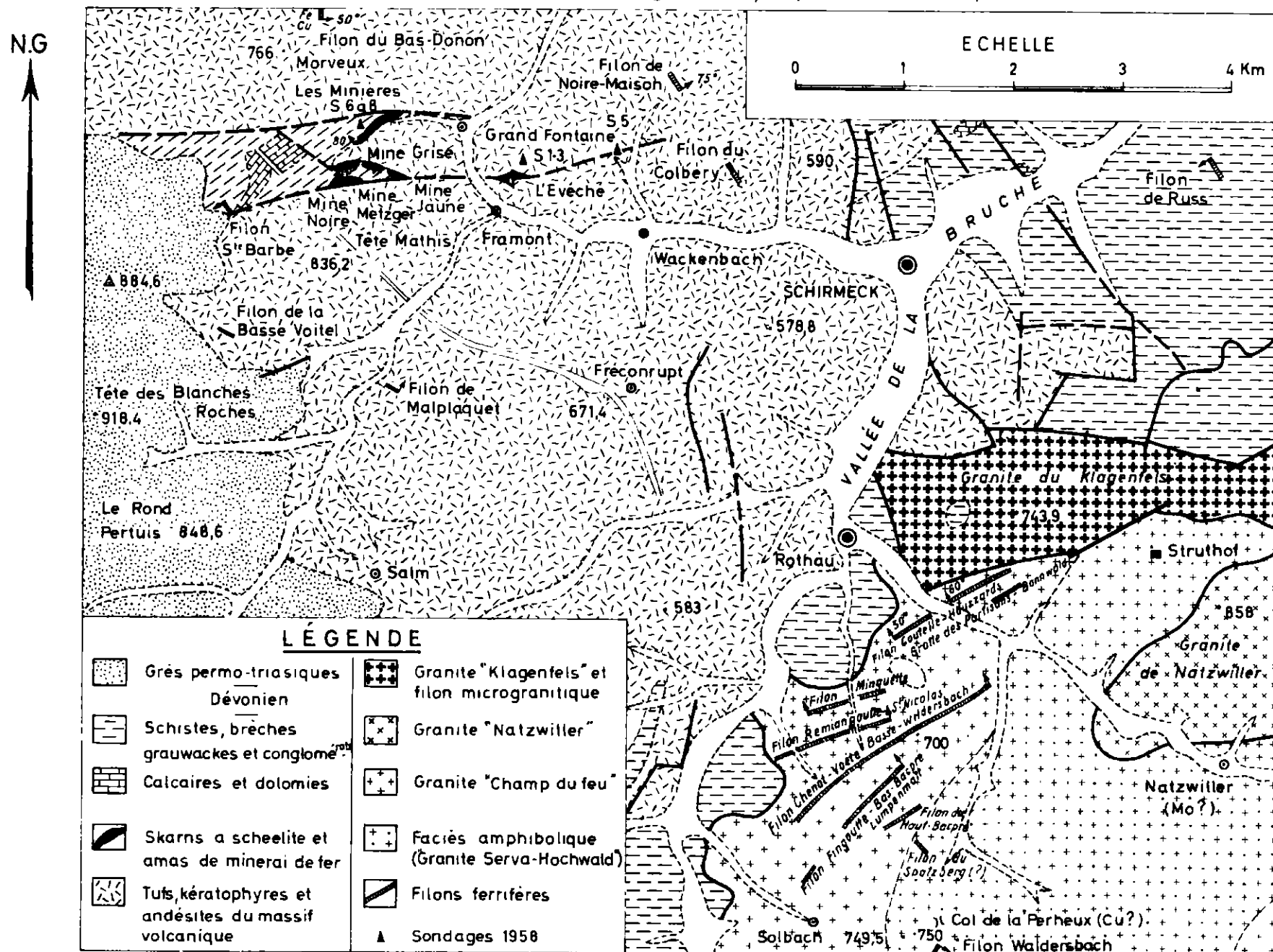


Figure 2

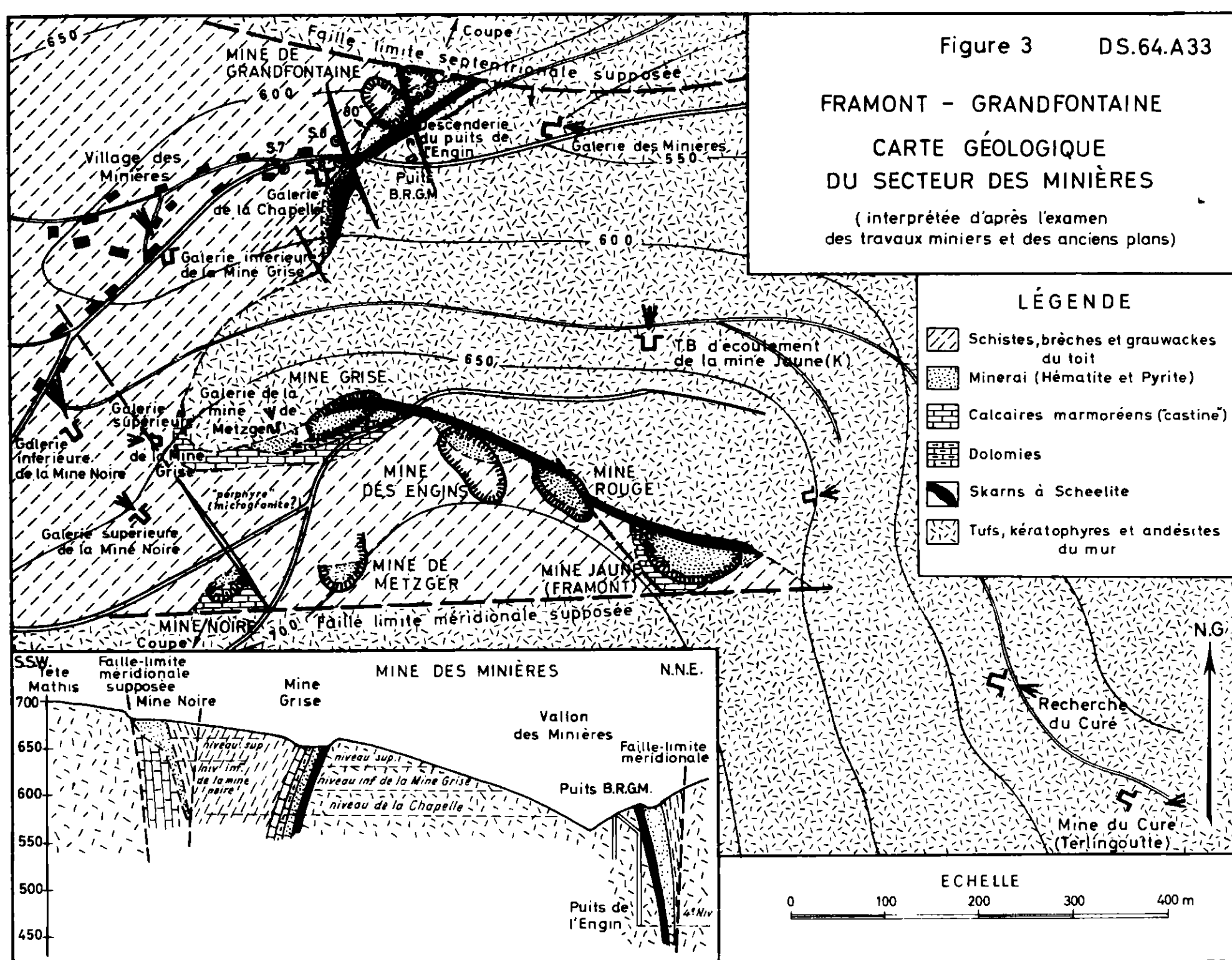
DS.64.A33

CADRE GÉOLOGIQUE DES GISEMENTS DE LA HAUTE-VALLÉE DE LA BRUCHE

(d'après Müller(1905) et Wagner(1923), simplifiés et modifiés)



FRAMONT - GRANDFONTAINE

CARTE GÉOLOGIQUE
DU SECTEUR DES MINIÈRES(interprétée d'après l'examen
des travaux miniers et des anciens plans)

MINE DES MINIERES ou GRANDFONTAINE

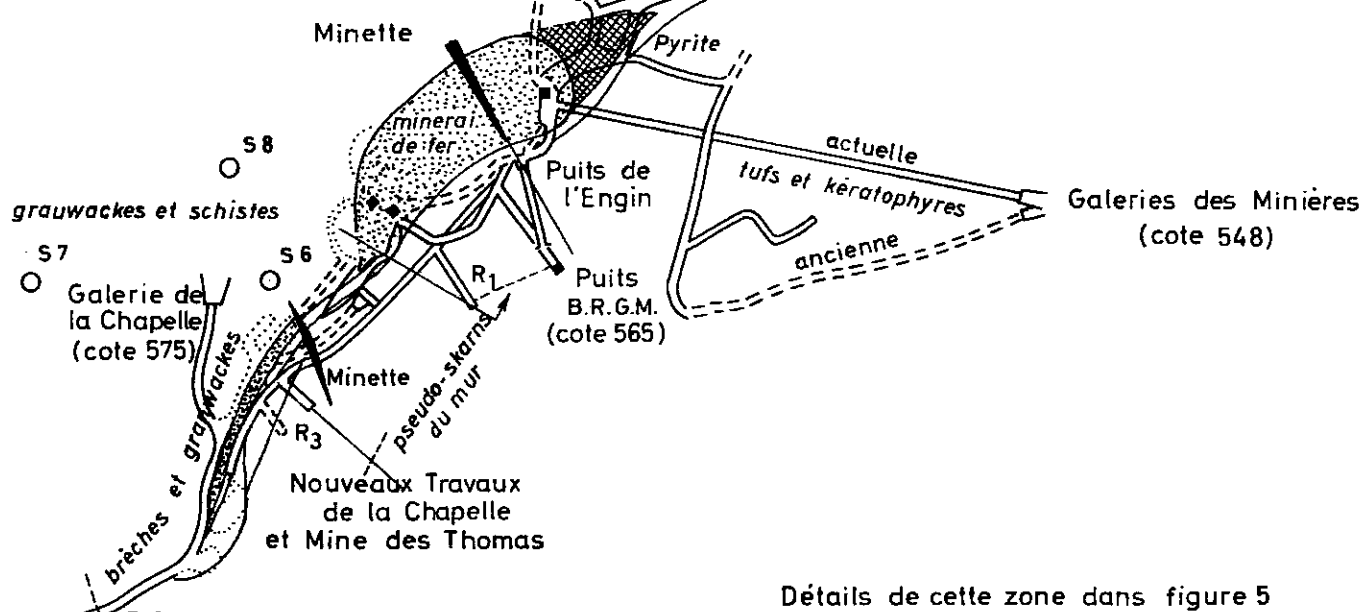


FIGURE 4

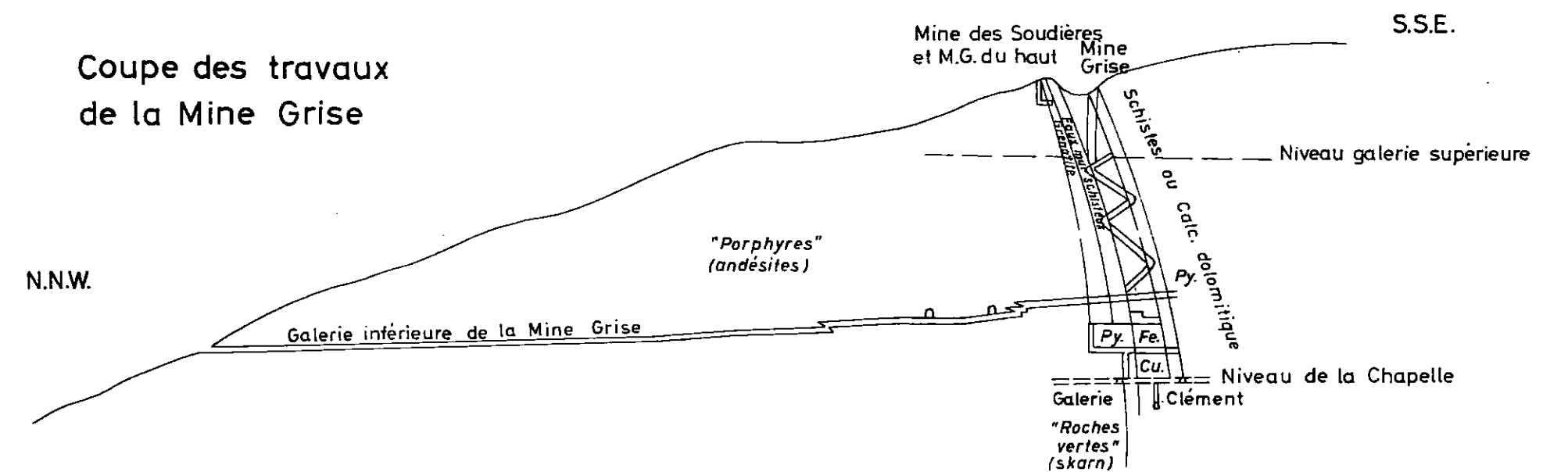
FRAMONT - GRANDFONTAINE

DS.64.A33

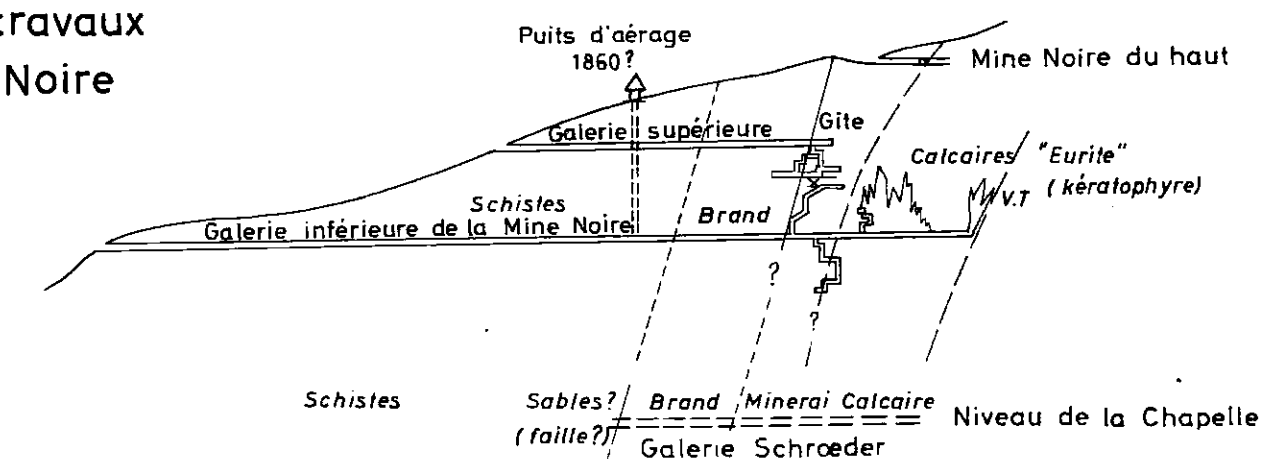
Plan et coupes des travaux

(d'après documents de 1818, 1837, 1843 et 1863)

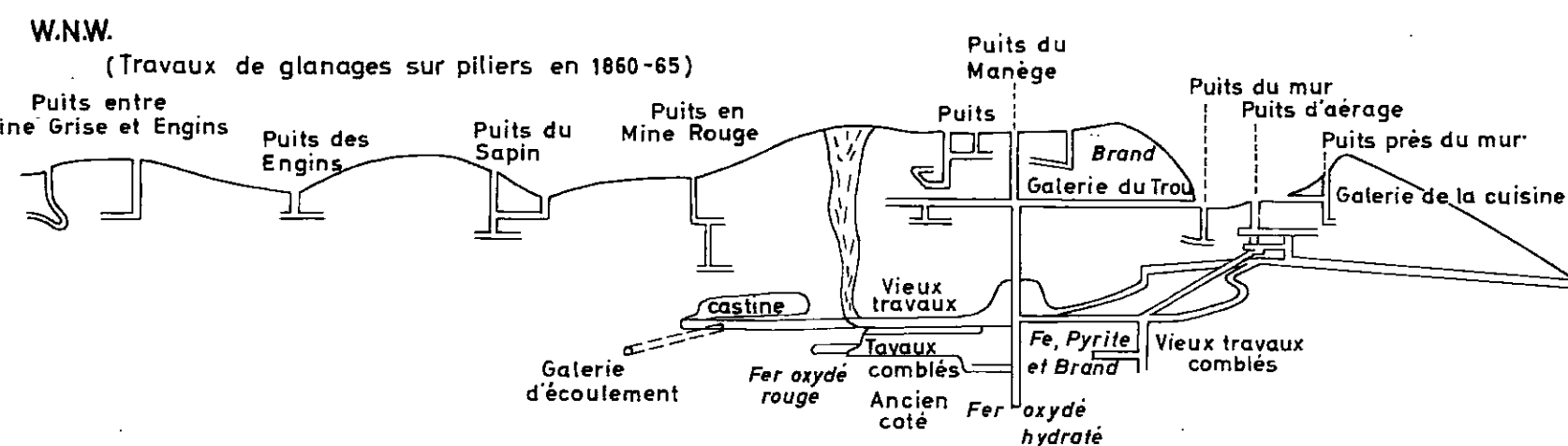
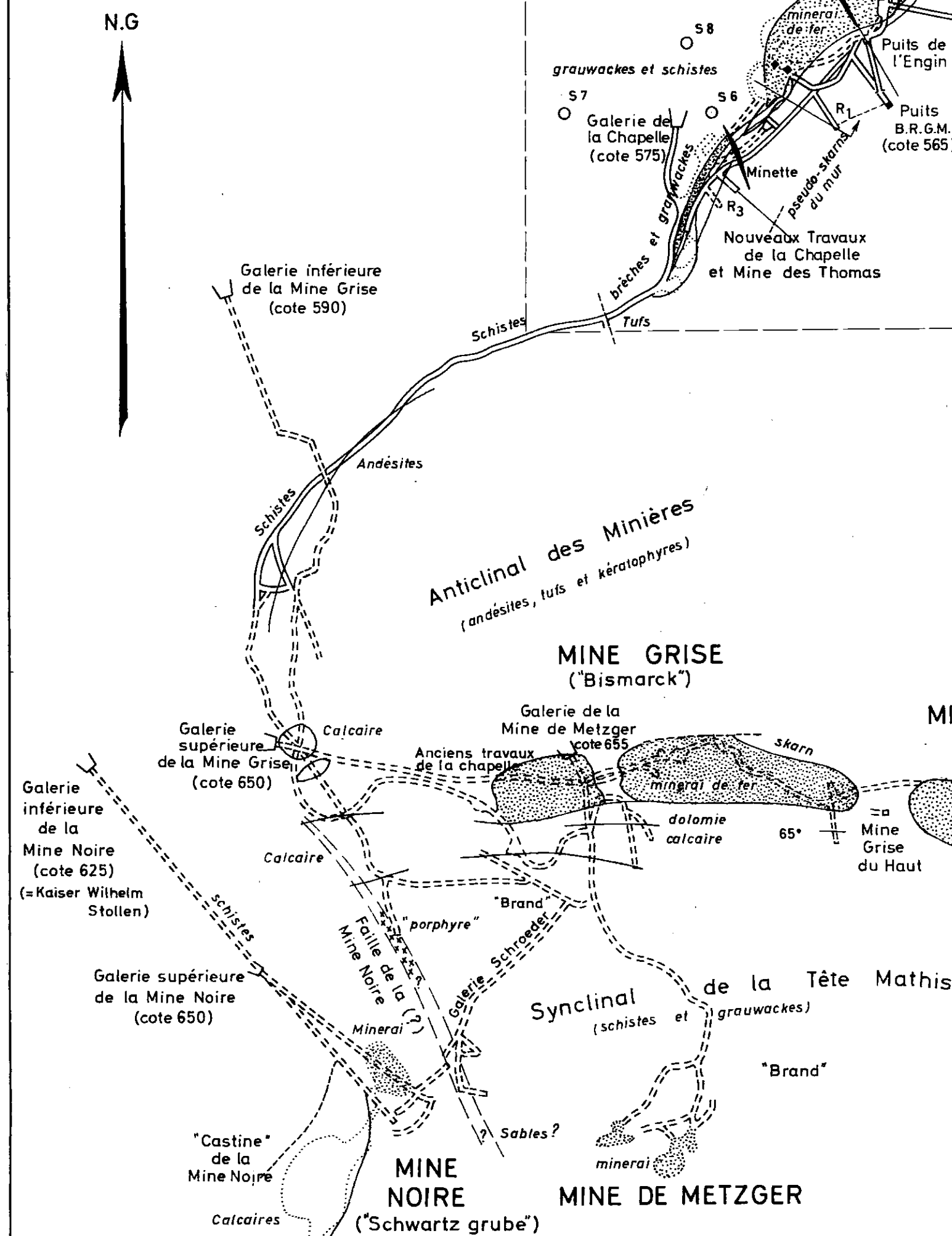
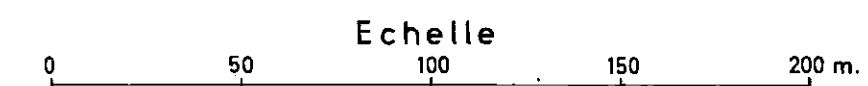
Coupe des travaux de la Mine Grise



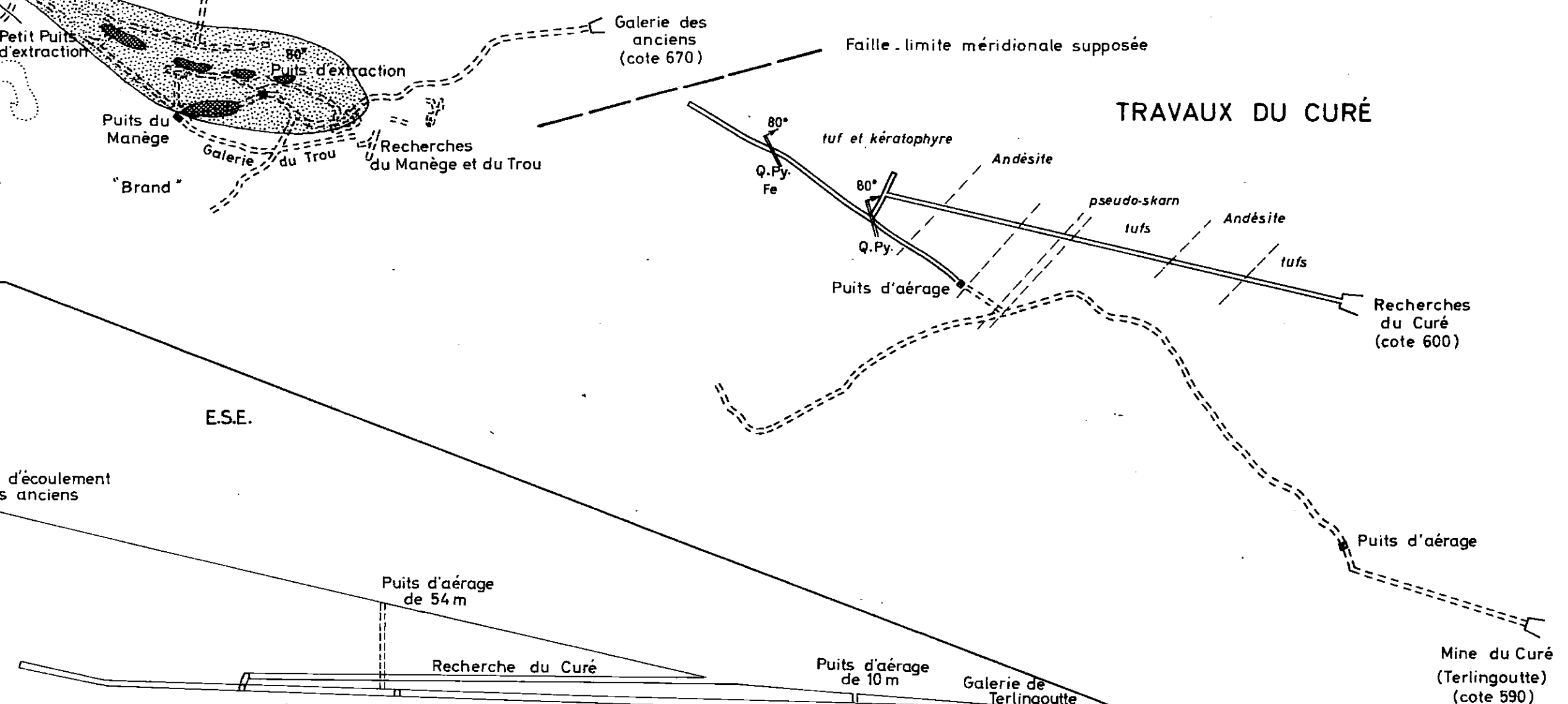
Coupe des travaux de la Mine Noire

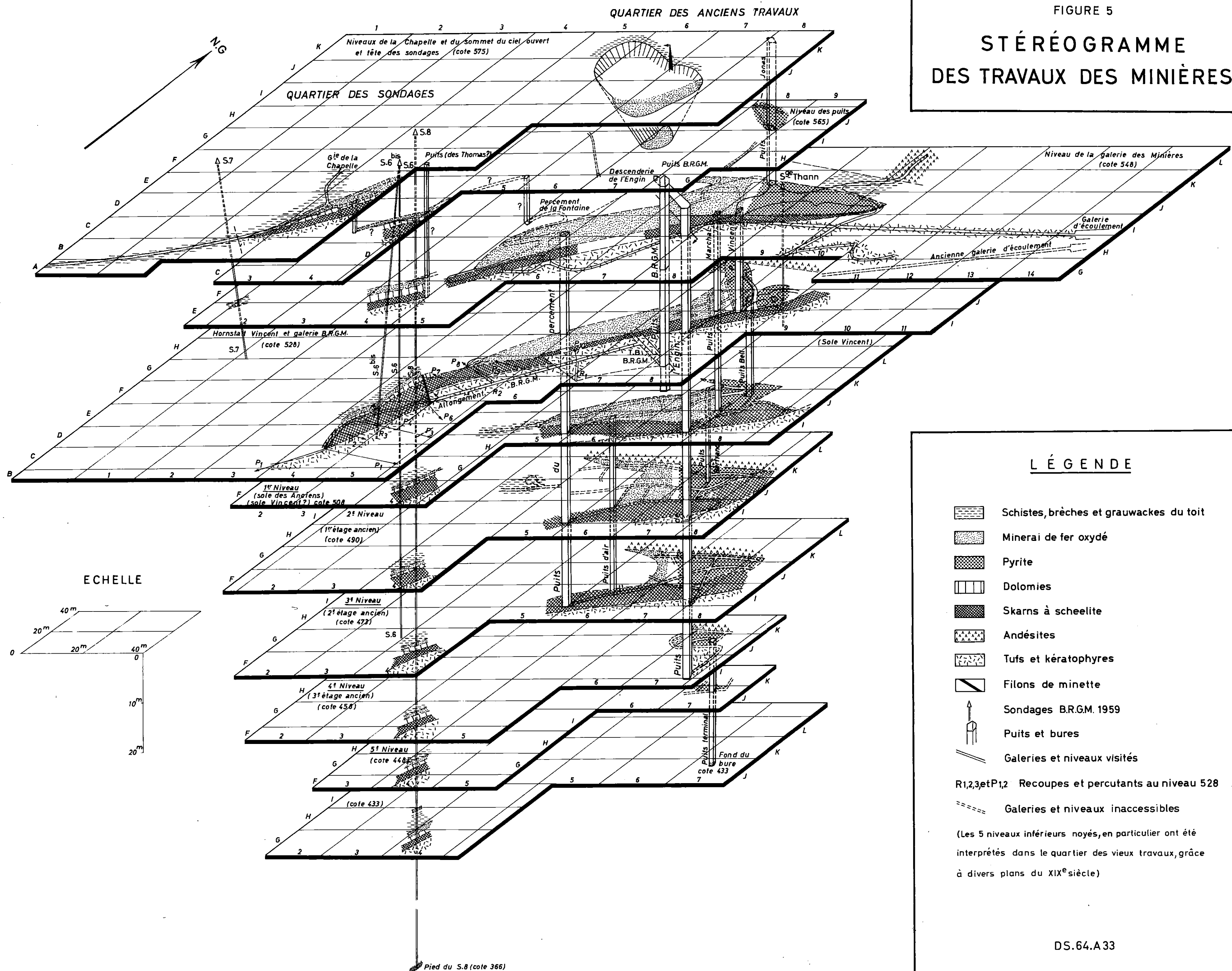


Les amas de minerai de fer exploités sont figurés en pointillés les zones pyriteuses en croisillons



Coupe des travaux de la Mine Jaune et du Curé





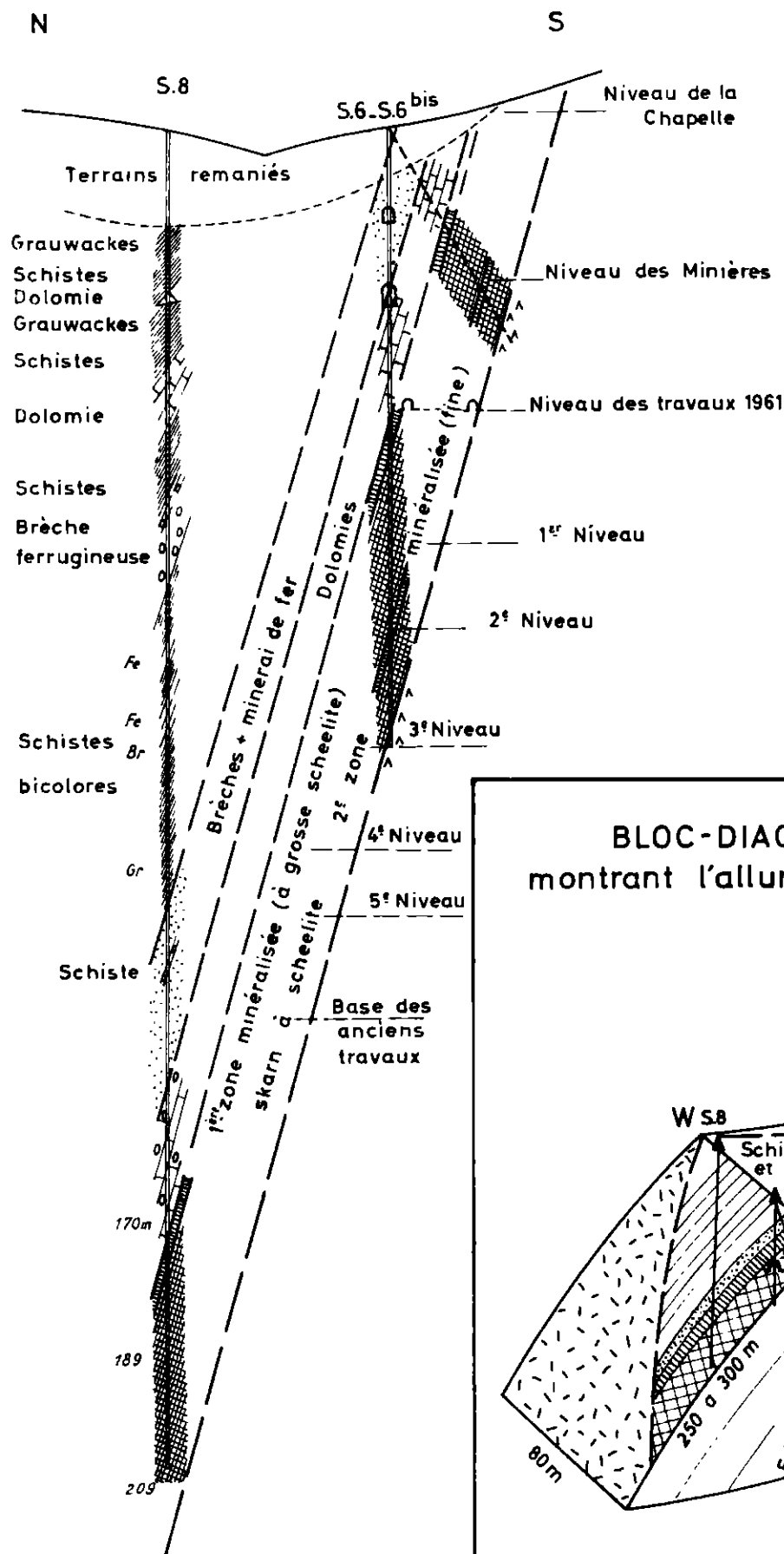


Figure 6

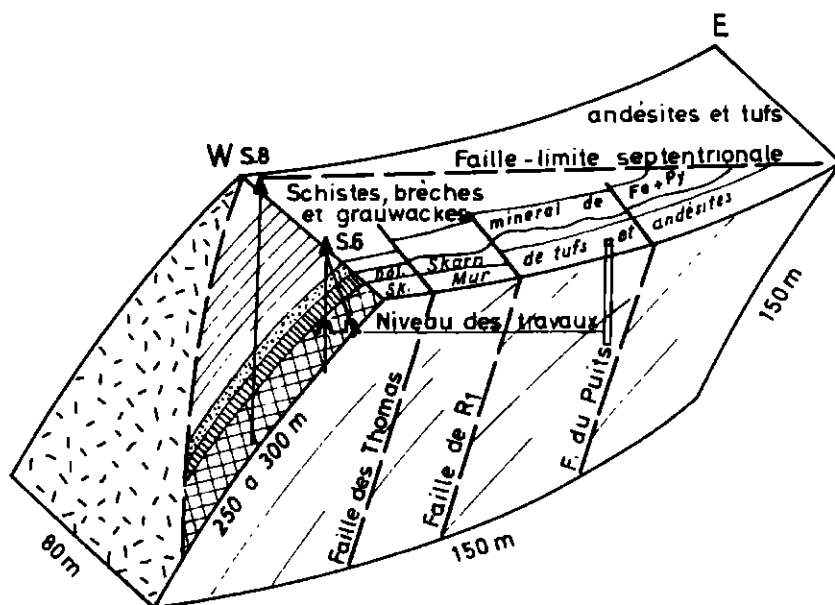
COUPE DE LA FORMATION
MINERALISEE DES MINIERES
RECONNUE PAR SONDAGES

Echelle

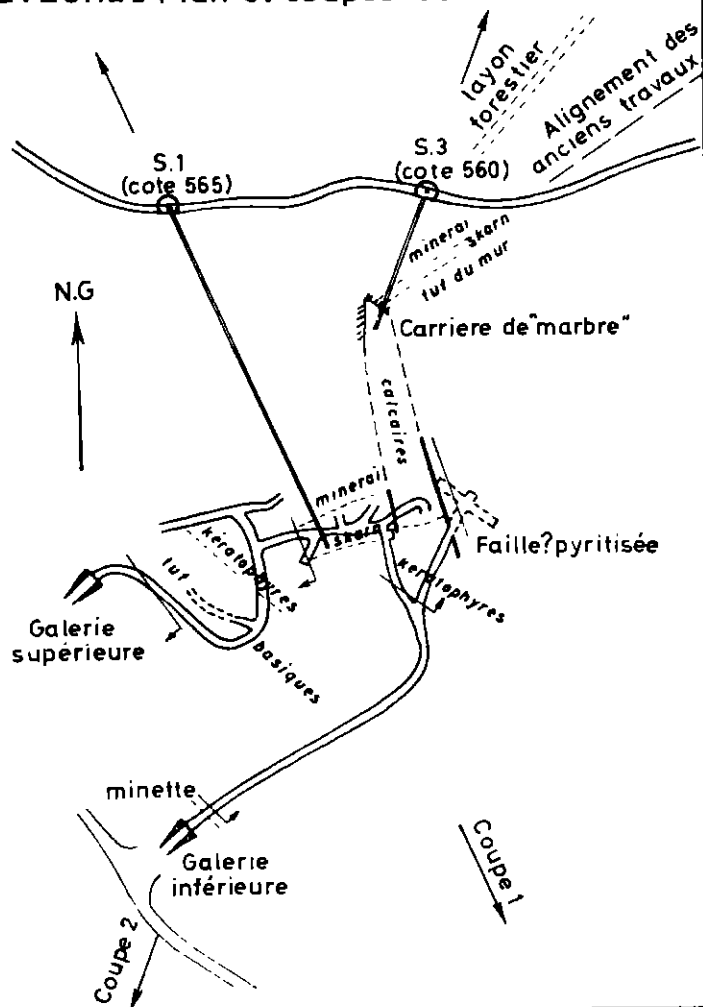


DS.64.A33

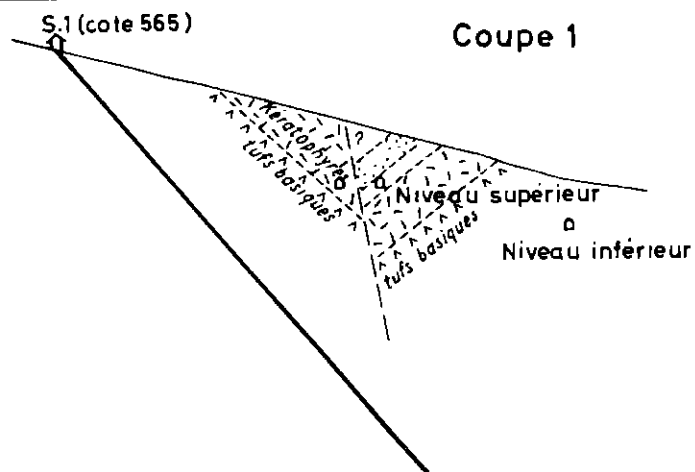
BLOC-DIAGRAMME SCHÉMATIQUE
montrant l'allure générale de la formation



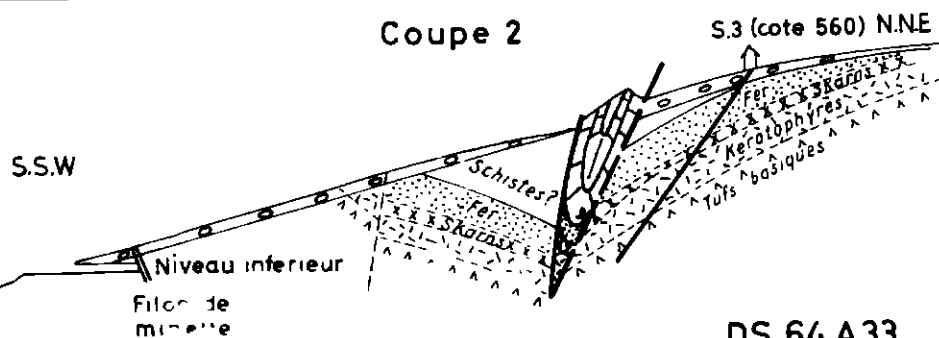
EVECHÉ - Plan et coupes des travaux



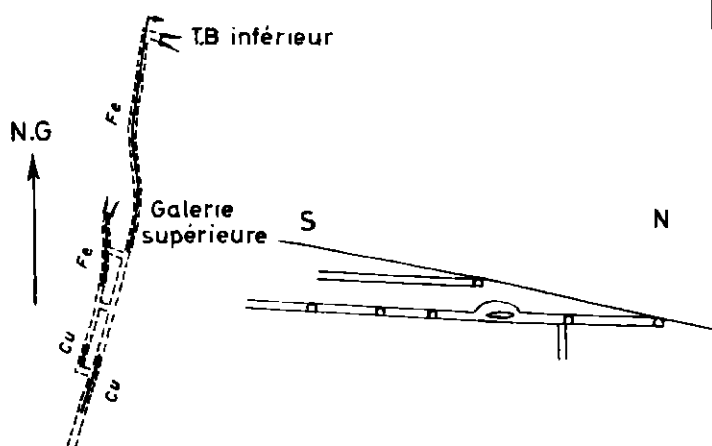
Coupe 1



Coupe 2



BAS-DONON - Plan et coupe des travaux(1849)



NOIRE-MAISON

Plan et coupe des travaux (1843, 59 et 61)

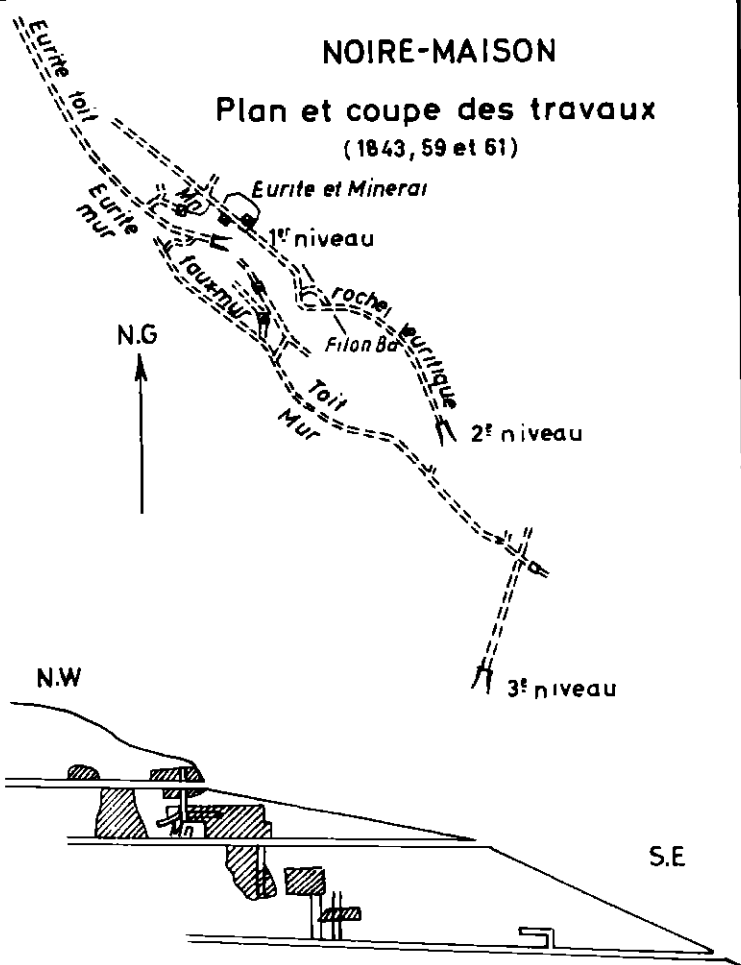


Figure 7

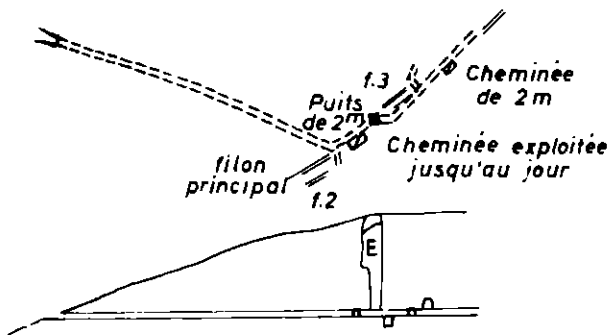
PLANS ET COUPES
DES TRAVAUX DE
L'ÉVECHÉ, BAS-DONON
ET NOIRE-MAISON

0 50 100m

DS.64.A33

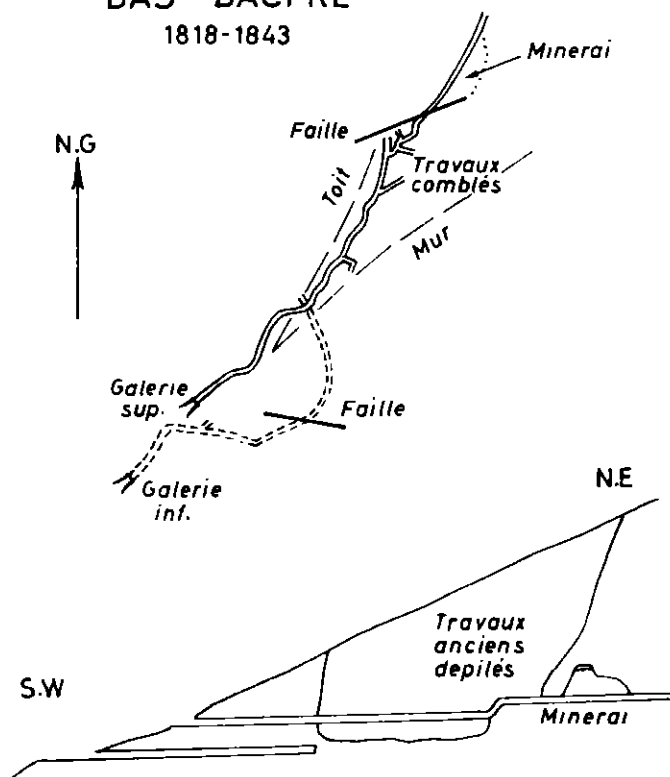
HAUT-BACPRÉ

1818



BAS - BACPRÉ

1818-1843



LA GOUTELLE

1818

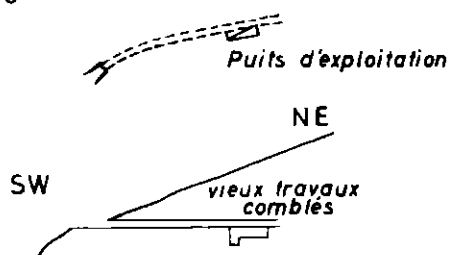


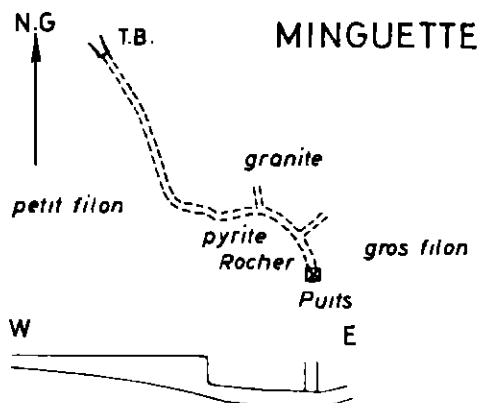
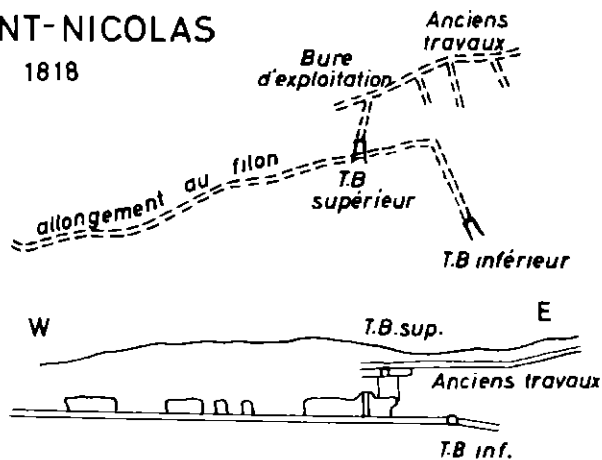
Figure 8

FILONS DE LA RÉGION DE ROTHAU

Plans et coupes

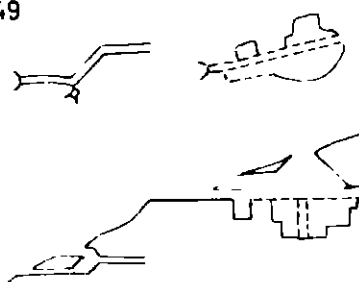
SAINT-NICOLAS

1818



BANNWALD

1849



Echelle

0 50 100 m

DS.64.A33

Figure 9

PLAN GÉOLOGIQUE DES TRAVAUX B.R.G.M.
(cote 529)

