



Inventaire minéralogique du Luxembourg Stolzembourg, Schimpach, Goetsdorf

Simon Philippo (éditeur)



49 2007

Travaux scientifiques
du Musée national
d'histoire naturelle
Luxembourg



Ferrantia est une revue publiée à intervalles non réguliers par le Musée national d'histoire naturelle à Luxembourg. Elle fait suite, avec la même toponymie aux TRAVAUX SCIENTIFIQUES DU MUSÉE NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE DE LUXEMBOURG.

Comité de rédaction:

Eric Buttini
Guy Colling
Edmée Engel
Thierry Helminger
Marc Meyer

Mise en page:

Romain Bei

Design:

Thierry Helminger

Prix du volume: 10 €

Rédaction:

Musée national d'histoire naturelle
Rédaction Ferrantia
25, rue Münster
L-2160 Luxembourg

tel +352 46 22 33 - 1
fax +352 46 38 48

Internet: <http://www.naturmusee.lu>
email: ferrantia@mnhn.lu

Echange:

Exchange MNHN-SNL
c/o Musée national d'histoire naturelle
25, rue Münster
L-2160 Luxembourg

tel +352 46 22 33 - 1
fax +352 46 38 48

Internet: <http://www.mnhnl.lu/biblio/exchange>
email: exchange@mnhnl.lu

Page de couverture:

1. Galerie d'exhaure de la mine de Goesdorf. photo S. Philippo
2. Quartz de Schimpach, specimen ZE098. photo S. Philippo

Citation:

Philippo Simon (éditeur) 2007 - Inventaire minéralogique du Luxembourg: Stolzembourg, Schimpach, Goesdorf. Ferrantia 49, Musée national d'histoire naturelle, Luxembourg, 152 p.

Date de publication:

10 juillet 2007
(réception du manuscrit: 9 février 2006)

Impression:

Imprimerie Graphic Press Sàrl, Mamer, Luxembourg

Ferrantia

49

**Inventaire minéralogique du Luxembourg
Stolzembourg, Schimpach, Goesdorf**

Simon Filippo (éditeur)

Luxembourg, 2007

Sommaire

S. Filippo, S. Bornain et al.: La minéralisation en cuivre de Stolzembourg

Résumé	7
Abstract	8
Zusammenfassung	8
1. Avant-propos	9
Le site de Stolzembourg et les collectionneurs de l'AGMP	9
La recherche scientifique à Stolzembourg	9
Revalorisation de l'ancienne mine de cuivre à Stolzembourg.	10
2. Les différentes périodes d'extraction dans la mine de cuivre de Stolzembourg (1717-1944)	10
2.2. Les premières découvertes dans le ruisseau du <i>Klangbaach</i>	11
2.3. L'acte d'exploitation minière de L. Pirmer et Le Locq (1717 -1745)	11
2.4. La concession de Franz Everhard von der Heyden (1746-1755)	12
2.5. La concession de Thylman Steyer (1764-1768)	12
2.6. La concession d'Antoine Pescatore (1768-1773)	12
2.7. La mine sous le régime français (1795-1814)	13
2.8. La concession sous le gouvernement hollandais (1815-1830)	14
2.9. Les suites de la révolution belge (1830-1839)	18
2.10. L'autorisation de Joseph Francotte (1853-1854)	18
2.11. Les travaux d'exploration près de Stolzembourg	18
2.12. Les travaux d'exploration près de Pütscheid	20
2.13. Les travaux de recherche de la société des mines de Stolzembourg (1854-1856)	20
2.14. La Société des Mines de Stolzembourg: première période (1856-1864)	22
2.15. La Société de Mines de Stolzembourg: seconde période (1864- 1881)	23
2.16. La période d'extraction de 1881 à 1886	24
2.17. Les suites (1886-1899)	26
2.18. L'association luxembourgeoise des ingénieurs et industriels (1901-1904)	26
2.19. La période d'extraction par la banque S. Bleichroeder (1910-1914)	28
2.20. Les derniers travaux miniers sous l'entreprise Neu et Stauder (1939-1944)	32
2.21. L'après-guerre (1945-1999)	34
3. Cadre géographique, géologique et structural	35
3.1. Localisation géographique	35
3.2. Le contexte géologique et structural	35
3.2.1. La géologie du Grand-Duché de Luxembourg	35
3.2.2. L'Éisléck, socle hercynien	35
3.2.2.1. L'Eodévonien	35
3.2.2.2. La tectonique hercynienne	40
3.2.3. Le champ de contraintes dans l'Éisléck	41
3.2.4. Données géologiques relatives à la région de Stolzembourg	42
3.2.4.1. Les plis et la schistosité	42
3.2.4.2. Les failles	42
3.2.4.3. Les structures sédimentaires	44
3.2.4.4. Synthèse des données géologiques	44
4. Inventaire des occurrences régionales	47
5. Le site de la mine	49
5.1. Localisation	49
5.2. Plan des travaux	49
5.3. La minéralisation	49
5.3.1. Géométrie de la minéralisation	49

5.3.2.	La minéralisation sensu stricto	51
5.3.3.	Relation encaissant - filon	52
5.4.	Les extensions de la minéralisation	53
6.	Les autres occurrences	55
6.1.	La galerie du Fléssen	55
6.1.1.	Localisation	55
6.1.2.	Plan des travaux	55
6.1.3.	La minéralisation	55
6.1.3.1.	Géométrie de la minéralisation	55
6.1.3.2.	La minéralisation en cuivre	57
6.1.3.3.	La minéralisation en barite	57
6.1.4.	Les extensions de la minéralisation	57
6.2.	La galerie du Riedgerbësch	57
6.2.1.	Localisation	57
6.2.2.	Plan des travaux	58
6.2.3.	La minéralisation	58
6.2.3.1.	Géométrie de la minéralisation	58
6.2.3.2.	La minéralisation sensu stricto	60
6.2.4.	Les extensions de la minéralisation	60
6.3.	La galerie du Mont-Saint-Nicolas	60
6.3.1.	Localisation	60
6.3.2.	Plan des travaux	60
6.3.3.	La minéralisation	60
6.4.	La galerie de la SEO	61
6.5.	Le filon de barite de Bivels	61
6.5.1.	Localisation	61
6.5.2.	La minéralisation	61
7.	Minéralogie et morphologie cristalline	64
7.1.	Inventaire minéralogique	64
7.2.	Descriptif minéralogique et morphologique des espèces confirmées	65
7.2.1.	«Ankërite»	65
7.2.2.	Aragonite	66
7.2.3.	Barytine	67
7.2.4.	Brochantite	67
7.2.5.	Calcite	68
7.2.6.	Chalcanthite	68
7.2.7.	Minéraux du groupe de la chalcocite	68
7.2.8.	Chalcopyrite	68
7.2.9.	Covellite	69
7.2.10.	Cubanite	69
7.2.11.	Cuivre natif	69
7.2.12.	Cuprite	69
7.2.13.	Dolomite	70
7.2.14.	Galène	70
7.2.15.	Goethite	71
7.2.16.	Gypse	71
7.2.17.	Hématite	71
7.2.18.	Hydrozincite	71
7.2.19.	Kaolinite	71
7.2.20.	Malachite	71
7.2.21.	Marcasite	72
7.2.22.	Pyrite	72
7.2.23.	Pyrolusite	73

7.2.24.	Quartz	73
7.2.25.	Ranciéite	73
7.2.26.	Romanéchine	73
7.2.27.	Sidérite	73
7.2.28.	Sphalérite	73
7.3.	Analyse approfondie des sulfures du Riedgerbësch	74
7.3.1.	La chalcopyrite	74
7.3.2.	La pyrite	74
7.3.3.	Les minéraux du groupe de la chalcocite	75
7.3.4.	Synthèse sur les sulfures du Riedgerbësch	75
7.4.	Paragénèses minérales	75
7.4.1.	Paragénèse du site de la mine	76
7.4.2.	Paragénèse de la galerie du Flëssen	77
7.4.3.	Paragénèse de la galerie du Riedgerbësch	77
7.4.4.	Paragénèse de la galerie du Mont-Saint-Nicolas	78
7.4.5.	Paragénèse du filon de Bivels	78
8.	Discussion et interprétation géologique des données géophysiques	79
8.1.	Les méthodes géophysiques utilisées	79
8.1.1.	La gravimétrie	79
8.1.2.	Le magnétisme	80
8.1.3.	La radiométrie	81
8.1.4.	Emanométrie radon	84
8.2.	Interprétation géologique des données géophysiques	85
8.2.1.	Les failles d'orientation NNO-SSE	85
8.2.2.	Les failles d'orientation NO-SE	87
8.2.3.	Les failles d'orientation ENE-OSO	87
8.2.4.	Les contacts lithologiques	89
9.	Métallogénèse	89
9.1.	La géométrie de la minéralisation	89
9.2.	Les conditions physico-chimiques de mise en place de la minéralisation	91
9.3.	La minéralisation de Stolzembourg dans son contexte régional	92
10.	Conclusions	94
	Bibliographie	96
S. Philippo, G. Kronz: Une seconde occurrence mondiale de gravegliaite et une première occurrence nationale d'or, Schimpach, Grand-Duché de Luxembourg		
	Résumé	101
	Abstract	101
	Zusammenfassung	102
1.	Introduction	102
2.	Histoire	103
3.	Géologie	103
4.	Minéralogie des filons de quartz	105
4.1.	Hématite	105
4.2.	Gravegliaite	105
4.3.	Moganite	105
4.4.	Quartz	105
4.5.	Chlorite	105
5.	Minéraux alluvionnaires de la Wiltz	109
5.1.	Grenats, spessartine - almandin	109
5.2.	Or,	109
5.3.	Pyrite	109

5.4.	Rutile	109
5.5.	Zircon	109
6.	Conclusions	109
	Remerciements	110
	Bibliographie	110
S. Filippo, A. Hanson: La minéralisation en antimoine de Goesdorf		
	Résumé	111
	Abstract	111
	Zusammenfassung	112
1.	Introduction	112
2.	Historique de la mine d'antimoine à Goesdorf	113
2.1.	Les premiers indices d'exploitation	113
2.2.	La concession de Henry de Vance (1527-1531)	113
2.3.	Réclamation des droits miniers par les seigneurs d'Esch-sur-Sûre	114
2.4.	Refus de concession à la 'Société du Luxembourg' (1827-1830)	114
2.5.	La concession de Hartmann & Cie (1847-1862)	115
2.6.	Demande en concession de la Banque Bielefeld & Cie (1870-1887)	117
2.7.	La «Luxemburger Antimonwerke» (1892-1902)	117
2.8.	La concession de Ries, Hirt et Cambier (1934-1938)	119
2.9.	Les derniers intérêts pour le site	120
3.	Géologie de la minéralisation	121
4.	Minéralogie	132
4.1.	Ankérite	132
4.2.	Argiles, phyllosilicates alumineux hydratés	132
4.3.	Berthiérite	132
4.4.	Calcite	132
4.5.	Chalcopyrite	134
4.6.	Chalcostibine	134
4.7.	Dolomite	134
4.8.	Goethite	134
4.9.	Gypse	134
4.10.	Jamesonite	134
4.11.	Kermésite	134
4.12.	Or	134
4.13.	Oxydes de Mn	134
4.14.	Pyrite	134
4.15.	Quartz	136
4.16.	Sénarmontite	136
4.17.	Sidérite	136
4.18.	Soufre	136
4.19.	Sphalérite	136
4.20.	Stibiconite	136
4.21.	Stibine	139
4.22.	Valentinite	139
4.23.	Zinkénite	139
4.24.	Minéral indéterminé 1	139
4.25.	Minéral indéterminé 2	139
4.26.	Minéral indéterminé 3	139
4.27.	Minéral indéterminé 4	141
4.28.	Autres minéraux	142
5.	Métallogénie	142
	Bibliographie	144

La minéralisation en cuivre de Stolzembourg*

Simon Philippo
Isabelle Hoffmann
Alain Faber
Guy Heinen
Jos Schoellen
Nico Schroeder
Blom Luc
Steve Bornain

Musée national d'histoire naturelle
25, rue Münster
L-2160 Luxembourg

**Ergebnisse eines vom wissenschaftlichen Forschungszentrum des Nationalen Naturhistorischen Museums in Luxemburg durchgeführten Projektes.*

Résultats d'un projet de recherche réalisé par le Centre de recherche du Musée national d'histoire naturelle à Luxembourg.

Results of a research project conducted by the research centre of the National Museum of Natural History in Luxembourg.

Résumé

La minéralisation en cuivre de Stolzembourg et sa minéralogie particulière constituent un trésor de notre patrimoine naturel national et un sujet d'étude passionnant.

Depuis 1986, le MnhnL a marqué un intérêt scientifique pour ce site proche de Vianden: du sentier géologique «Mir gin op d'Grouf» à la thèse de doctorat de Steve Bornain en 2003 en passant par l'exposition de minéraux de sa collection dans le musée Koffergrouf depuis 1999. Cette publication est une synthèse des données publiées et des données récoltées depuis 10 ans. Les analyses chimiques et minéralogiques ont permis de caractériser les espèces présentes à Stolzembourg et les prospections géophysiques ont permis de décrire parfaitement le contexte structural de mise en place de la minéralisation.

En 1948, Michel Lucius conclut son chapitre sur Stolzembourg avec les remarques suivantes: «La tectonique de détail du filon serait également à étudier de près. Il va de soi que les dérangements avec ou sans rejet, sont

nombreux dans une région aussi fortement disloquée comme l'Oesling. De ce fait le filon peut présenter des déviations et des dédoublements. Un certain nombre de travers-bancs seraient donc à creuser surtout dans la partie inférieure de la mine».

Presque soixante ans après, cette publication amène les réponses espérées par Michel Lucius.

L'ensemble des travaux réalisés par le MnhnL et ses collaborateurs scientifiques permet enfin de confronter positivement les données de Paul Antun, de E. Staud, de P. Nix, de Steve Bornain et des autres nombreux scientifiques qui ont étudiés ce site.

Avec une minéralisation mise en place en période post-varisque, le gisement de Stolzembourg trouve un cadre chronologique précis délimité par les différentes familles de failles qui ouvrent les fractures dans lesquelles le minerai cristallisera et celles qui le rejeteront postérieurement.

Abstract

The Copper Mine near Stolzenbourg and its particular mineralogy represents a treasure of our national natural heritage and a fascinating field of study.

Since 1986, MnhnL (National museum of Natural History from Luxembourg) showed a scientific interest for this occurrence, close to Vianden: the geological path «Mir gin op d' Grouf», the PhD thesis of Steve Bornain in 2003, the mineral exhibit of its collection in the Koffergrouf museum since 1999,...

This publication is a synthesis of the data published and collected for over 10 years. The chemical and mineralogical analyses made it possible to specify the paragenesis of the site and the geophysics prospects made it possible to describe perfectly the structural context of the deposit.

In 1948, Michel Lucius concluded its chapter on Stolzenbourg with the following remarks: "detailed tectonics of the lode would need a close study. It's understood that

the disturbances with or without throw, are numerous in an area also strongly dislocated like Oesling. For this reason, the lode can present deviations and splitting. Many cross-cuts should therefore be made, especially in the lower part of the mine".

Almost sixty years later, this publication brings the answers hoped by Lucius.

The entire work done by the MnhnL and his scientific collaborators is yielding a positive discussion basis regarding the results of P. Antun, E. Staud, P. Nix, S. Bornain and many other scientists having studied this occurrence.

With a deposit dated from the post-variscan Period, the Stolzenbourg lode is put in a chronological context precisely delimited by the various group of faults. The first one opens the fractures in which the ore will crystallize and the second one will reject it subsequently.

Zusammenfassung

Das Kupfererzvorkommen von Stolzenbourg sowie seine spezielle Mineralisation stellt ein äußerst interessantes Studienfeld, als auch ein wichtiges Naturerbe dar.

Seit 1986 wird dieses Vorkommen nahe Vianden von Naturhistorischen Museum Luxemburg wissenschaftlich bearbeitet; angefangen beim geologischen Wanderpfad „Mir gin op d'Grouf“ und dem Lokalmuseum „Koffergrouf“, seit 1999, bis hin zur Doktorarbeit von Steve Bornain im Jahre 2003.

Die vorliegende Arbeit ist eine Synthese von schon veröffentlichten Erkenntnissen und den seit 10 Jahren gesammelten Daten. Die chemischen und mineralogischen Analysen erlaubten es die Kenntnisse über die Paragenese des Vorkommens zu vertiefen; die räumlichen Strukturen der Erzgänge konnten durch geophysikalische Untersuchungen genau beschrieben werden.

1948 schloss Lucius sein Kapitel über Stolzenbourg mit folgender Bemerkung ab:

Die Feintektonik des Ganges bedürfe einer eingehenden Untersuchung. Es versteht sich von selbst dass

Störungen mit oder ohne Versatz in einer so stark tektonisch beanspruchten Region wie dem Oesling häufig sind. Aus diesen Gründen kann der Gang Verwerfungen und Verschiebungen aufweisen. Weiter wäre auf die Zweckmäßigkeit des Vortreibens querschlägiger Stollen, insbesondere in den tieferen Bereichen der Grube hinzuweisen.

Nach fast sechzig Jahren gibt diese Publikation die von Lucius erhofften Antworten.

Die Gesamtheit der vom Naturhistorischen Museums und dessen wissenschaftlichen Mitarbeitern geleisteten Arbeiten erlaubt somit eine positive Diskussion der von Antun, Staud, Nix, Bornain und vielen anderen Wissenschaftlern gelieferten Erkenntnissen welche dieses Vorkommen bearbeitet haben.

Mit einer Mineralisation, welche in der postvariskischen Periode entstand, findet das Stolzenburger Vorkommen eine präzise chronologische Einordnung die durch verschiedene Verwerfungen begrenzt wird. Diese Verwerfungen öffnen ihrerseits ein Kluftsystem in dem der Erzgang kristallisieren kann oder solche in denen sich eine Verschiebung bildet.

1. Avant-propos

Le site de Stolzembourg et les collectionneurs de l'AGMP

par Guy Kronz, Président de l'AGMP

Depuis la création de l'AGMP (Amis de la Géologie, Minéralogie et Paléontologie) en 1974, ses membres se sont vivement intéressés à ce site minéralogique exceptionnel dans le Grand Duché de Luxembourg.

Cependant, l'intérêt primordial dans les années du début de la recherche se limitait à la récolte des grosses pièces d'ankérite, de quartz ou de chalcoppyrite. Le site était régulièrement visité par les membres de l'AGMP, soit en excursion organisée par l'association, soit en sorties individuelles.

Une Fouille du Musée National d'Histoire Naturelle en 1986 changera l'attitude de quelques collectionneurs luxembourgeois ; les minéraux seulement visibles à la loupe binoculaire devenaient de plus en plus intéressants.

Ceci entraîna naturellement une forte augmentation du nombre d'espèces minéralogiques connues pour le site et la recherche des minéraux prenait de plus en plus une approche scientifique.

De 1980 à 1992, un petit groupe de travail s'était formé composé essentiellement de Guy Heinen, Robert Dillmann, Armand Hary, Théo Hauptert, René Hirtz, Tun Kies, Guy Kronz et Gust Pick avec pour objectif de tenter le premier inventaire systématique du site.

Parallèlement, Gust Pick étudiait encore la minéralisation dans la galerie de prospection de Fléssen qui menait à la découverte de la Cuprite et le gisement de baryte de Bivels où il a pu mettre en évidence la Ranciéite.

Les résultats de ces travaux ont été publiés dans la brochure sur les minéraux de l'Oesling (Kronz et Heinen) éditée en 1993 pour les 20 années de l'AGMP.

La recherche scientifique à Stolzembourg

par Simon Philippo, Conservateur de la section Géologie / Minéralogie

La minéralisation en cuivre de Stolzembourg et sa minéralogie particulière constituent un trésor de notre patrimoine naturel national et un sujet d'étude passionnant. De plus, c'est le site luxembourgeois le plus riche en espèces minéralogiques.

Depuis 1986, date de la première fouille officielle organisée sur le site, le MnhnL a marqué son intérêt scientifique pour le site.

Les premières concrétisations de cet intérêt furent l'ouverture du sentier géologique « Mir gin op d'Grouf » et l'ouverture du musée locale en 1999.

La Commune de Putscheid, le Ministère du Tourisme, le Syndicat d'Initiative, Stolzebuerg, le programme européen FEOGA, Fonds d'investissement de développement régional et le Musée national d'histoire naturelle ont collaboré à la réalisation du musée de la mine de cuivre à Stolzembourg. Le Musée Koffergrouf a été installé dans l'ancienne école du village et présente les objets en relation avec l'histoire, l'exploitation et la minéralogie de la mine. Il comprend des vitrines, des tables de travail, des panneaux explicatifs et du matériel d'exploitation. Conçu pour accueillir le public luxembourgeois en week-end, les touristes en haute saison et les classes scolaires sur la découverte de notre patrimoine naturel et industriel, le musée constitue aussi le lieu de départ du sentier géologique Mir gin op d'Grouf et de la visite des vestiges de la mine.

Pour mener à bien sa recherche, le MnhnL collabore avec l'Université Catholique de Louvain (Belgique) et l'Observatoire Royal de Belgique.

La plupart des analyses ont été réalisées avec le matériel de l'Université Catholique de Louvain mis à notre disposition depuis 1997. Cette aide précieuse nous a permis de confirmer par diffraction des rayons X dix huit des trente cinq minéraux recensés à Stolzembourg. Cette collaboration nous a également permis d'analyser chimiquement de nombreux minerais et minéraux et ainsi de les caractériser au mieux.

En 1999, un travail de fin d'étude sur le site a été réalisé par Monsieur Steve Bornain. Ce travail a été encadré par des géologues de Louvain-la-Neuve et du MnhnL et a comme titre «Etude de la minéralisation filonienne de cuivre de Stolzenbourg».

En 2003, Steve Bornain termine sa thèse de doctorat qui donnera un nouvel éclairage sur la géologie autour de la mine. Cette thèse est le fruit d'une collaboration entre l'Université de Louvain, l'Observatoire Royal de Belgique, l'Université de Luxembourg et le MnhnL. Elle a pour titre «La tectonique cassante dans la région de Stolzenbourg à la lumière de données géophysiques (gravimétrie, magnétisme, spectrométrie gamma et émanométrie radon)».

L'essentiel de toutes ces données sont compilées dans ce travail. A la lumière de celles-ci, une nouvelle interprétation du contexte de mise en place de la minéralisation est proposée.

Revalorisation de l'ancienne mine de cuivre à Stolzenbourg.

par Fernand Zanter, Président du Syndicat d'Initiative de Stolzenbourg

En date du 30 septembre 1994, un Syndicat d'Initiative a été fondé à Stolzenbourg, suite à la création de l'initiative LEADER II (Liaisons entre actions de développement de l'économie rurale) dans les cantons de Clervaux et Vianden. A part les buts classiques d'une telle association (Promouvoir les mesures de développement de la localité et le tourisme rural, gérer les mesures d'entretien du patrimoine, organiser des manifestations culturelles), le grand challenge du nouveau Syndicat était la revalorisation de l'ancienne mine de cuivre, située à 1,5 km de Stolzenbourg, dans la vallée du «Klangbach». La conservation de ce patrimoine industriel, intégré dans un plan touristique régional, devrait enrichir la vallée de l'Our avec une nouvelle attraction.

Rapidement, on a réussi à convaincre d'autres partenaires au niveau national et régional pour soutenir le projet: le Musée National d'Histoire Naturelle (MnhnL), le Service des Sites et Monuments Nationaux, le Ministère du Tourisme, la Commune de Pütscheid. Après les premiers

contacts, les idées ont été concrétisées: On voulait présenter l'ancienne mine au grand public et la rendre partiellement accessible. En effet, depuis la dernière période d'exploitation de 1938 – 1944, le site de la mine se trouvait dans un état désolant et abandonné, et il y avait le risque que la mine disparaisse complètement de la mémoire des gens. Dans le bâtiment de l'ancienne école primaire de Stolzenbourg, un musée fut installé, informant sur la géologie de la région et l'histoire de la mine. On y trouve également une exposition sur les minéraux, collectionnés par le Musée National d'Histoire Naturelle sur le site de la mine. Un DVD avec d'anciens mineurs rend témoignage de l'exploitation du minerai dans le passé. Le sentier géologique, reliant le musée avec le site de la mine, permet de revaloriser les vestiges, en remplaçant le site minier dans son contexte géologique et minéralogique.

Lors d'une visite guidée des galeries souterraines, les intéressés apprennent tout sur le travail difficile d'exploitation du minerai de cuivre. Aujourd'hui, seulement 6 ans après le début des travaux de remise en état, une progression annuelle importante du nombre des visiteurs fait preuve de la nouvelle attraction touristique dans le Parc Naturel de l'Our.

2. Les différentes périodes d'extraction dans la mine de cuivre de Stolzenbourg (1717-1944)

Isabelle Hoffmann, Alain Faber, Guy Heinen, Jos Schoellen, Nico Schroeder, (Texte original en allemand), (Hoffmann, 1998, 1999)

Traduction: Blom Luc, Heinen Guy

2.1. Introduction

L'article suivant a été élaboré par un groupe de travail du Musée national d'histoire naturelle, qui, dans un premier temps, s'est intéressé aux minerais et minéraux de la mine et qui a ensuite découvert des faits intéressants de l'histoire de la mine. Ceux-ci leur ont paru si importants qu'ils ont commencé à accumuler davantage de données historiques. Ainsi l'impact des événements de la politique locale, des rapports de force en Europe,

de l'industrialisation et du progrès technologique sur l'histoire de la mine a pu être décrit.

2.2. Les premières découvertes dans le ruisseau du *Klangbaach*

Sur la carte du comte Joseph de Ferraris de l'an 1777, Stolzenbourg figure comme petit village (fig. 2.1). Au bord du *Klangbaach* et de l'Our se trouvait un moulin. Sur l'une des hauteurs se dressait un château, sur l'autre une chapelle. Le réseau des chemins était peu développé. La carte illustrée ci-contre montre qu'il n'y avait pas encore de chemin carrossable longeant l'Our et reliant Stolzenbourg à Vianden. Les champs se trouvaient principalement sur les surfaces élevées, les prés dans les vallées et les pentes étaient couvertes de forêts.

Ce secteur au nord de Vianden était très peu peuplé. En 1740 Stolzenbourg comptait 125 habitants, dont 34 enfants âgés de moins de 10 ans. Les écuyers et les bonnes n'étaient pas enregistrés. Le cheptel par famille était très léger; les fermiers



Fig. 2.1: Carte de J. Ferraris (1777) localisant le village de Stolzenbourg.

étaient sans moyens. Pauvreté et misère régnaient dans cette région.

Au 18^{ième} siècle, il n'y avait donc aucune raison de s'intéresser à cette commune située à la frontière germano-luxembourgeoise actuelle. Et pourtant Stolzenbourg deviendra le village le plus important des trois communes de l'Éislek dont le sous-sol comporte une veine minéralisée: Stolzenbourg (cuivre), Allerborn (plomb et argent), Goesdorf (antimoine).

Impressionnante et variée ne sont pas des termes exagérés pour décrire l'histoire de la mine de cuivre dans le *Goldberg*. La découverte du minerai jaune-or contenant le cuivre n'a pas été documentée, mais on estime cependant que Romains et Celtes y ont déjà creusé.

Par un récit datant du 16^{ième} siècle, nous apprenons beaucoup plus sur la découverte de la minéralisation en cuivre. Les habitants de Stolzenbourg constataient avec souci que leurs animaux domestiques qui buaient du *Klangbaach*, en dessous du *Goldberg*, souffraient d'empoisonnement. Une enquête menée dans le temps confirmait une teneur anormalement élevée en sel de cuivre. Peu après une veine avec différents minéraux fut découverte dans la partie supérieure du cours d'eau.

La montagne dans laquelle on avait découvert la veine minéralisée fut désignée par Ferraris comme montagne de Stolzenbourg, puis rebaptisée en *Goldberg* et s'appelle aujourd'hui *Golddell*. Le *Goldberg*, d'après une vieille histoire, doit son nom à un prêtre. Celui-ci, bien que sans possession, a su tirer avantage de la mine et laissa au moment de sa mort une véritable fortune évaluée à 40.000 Taler.

Les gisements de minerais étant rares au Luxembourg et l'industrialisation étant importante, on peut comprendre qu'au long des années le minerai de cuivre ait attiré des entrepreneurs de façon répétitive.

2.3. L'acte d'exploitation minière de L. Pirmer et Le Locq (1717 -1745)

D'après André Dumont (1848) les premiers travaux d'extraction sur la pente Nord du *Goldberg*, sur la rive droite du *Klangbaach*, furent effectués au début du 17^e siècle.

La concession la plus ancienne connue à ce jour a été attribuée le 14 juin 1717 aux Sieurs L. Pirmer et Le Locq de Namur. Anna Magd. de Gardelle, dame de Falkenstein, était partenaire pour une moitié de ce brevet d'exploitation. Dix ouvriers appelés «associés», venant de Christnach et alentours, devaient extraire le minerai. De la recette, la dame se réservait 6/16 et laissait 1/16 pour chaque ouvrier. Ceci fut acté par le notaire Mergay le 15 mai 1745.

Le 29 juillet et le 7 août, Madame de Gardelle s'efforçait de trouver de nouveaux associés. Les raisons de cette démarche restent inconnues.

2.4. La concession de Franz Everhard von der Heyden (1746-1755)

En 1746, une fonderie de cuivre se trouve dans la vallée du *Klangbaach* à côté de la mine. Toutes les deux sont mentionnées dans un rapport du notaire Veyder du 4 juin 1746. D'après ce texte, Wilhelm Hoscheid de Pütscheid accordait au baron Franz Everhard von der Heyden le passage sur le «*chemin de la Michaeliswies jusqu'au fond où se situe la fonderie et où l'eau a son cours, mais seulement aussi longtemps que la fonderie de cuivre et la mine sont entretenues.*» Ce chemin situé en dessous de Pütscheid correspondrait au chemin forestier actuel conduisant sur le *Botterweck* (L. Kugener, 1987: communication orale).

Deux ans plus tard le baron vendait une partie de sa seigneurie, probablement pour obtenir les moyens nécessaires au financement de l'entreprise minière. Le 24 juillet 1749, le gouvernement autrichien sous Maria Teresa accordait la concession au châtelain de Stolzenbourg, baron Franz Everhard von der Heyden (Milmeister, 1975). À la mort du Baron en 1755, l'extraction fut arrêtée par manque d'équipement technique et de moyens financiers.

L'entreprise fut probablement gérée par le syndicat de la fonderie de cuivre, puisqu'un marchand de Vianden exigeait des redevances concernant une livraison de pétrole auprès du comptable syndical (notaire Veyder, 03.03.1758). Wilhelm Hoscheid de Pütscheid achetait deux parts (2/32) de la mine de cuivre de Hansjörg Schlepback du *Blommendall* pour 110 Reichstaler (notaire Veyder, 08.09.1750).

2.5. La concession de Thylman Steyer (1764-1768)

Le 14 juillet 1764 la concession a été cédée à l'entrepreneur Thylman Steyer de Trèves. En 1765 il employait 7 à 9 mineurs et 3 ouvriers. Les premiers creusaient la mine et les autres enlevaient le minerai avec des brouettes.

Le 16 avril 1768, T. Steyer s'associait par contrat à Antoine Pescatore, originaire de la Suisse italienne et marchand à Luxembourg. Il avançait 3.600 guildens pour l'exploitation minière. Jakob Steyer, fils de Thylman, devenait directeur de la mine. Il s'était rendu coupable de plusieurs fraudes et fut arrêté alors qu'il passait la frontière avec 500 livres de minerai non déclaré. L'Etat exigeait ainsi une amende de 80 thalers, avant de libérer le minerai saisi. J. Steyer disparut à l'étranger. Sur ce A. Pescatore porta accusation contre T. Steyer. Le tribunal léguait le droit sur le minerai et la mine à l'emprunteur, après que ce dernier ait réglé les frais de l'amende.

2.6. La concession d'Antoine Pescatore (1768-1773)

Du 22 décembre 1768 jusqu'en 1773, A. Pescatore administrait lui-même l'exploitation. Il est connu que les travaux suivants ont été accomplis jusqu'en juillet 1780:

- sur la rive gauche du *Klangbaach*, une galerie d'approximativement 40 m de longueur et de direction Nord a été creusée dans la pente;
- au milieu de la galerie un puits de 5 à 6 m de large a été percé. Ceci était le début du puits d'extraction prévu.
- dans la pente à droite du *Klangbaach*, la colonne de minerai au-dessus du fond du vallon était épuisée. L'exploitation y laissait 4 galeries parallèles, superposées à différentes profondeurs et reliées par des puits. Les premières tentatives pour extraire le minerai en dessous du fond de vallée, au niveau de la nappe phréatique, eurent lieu à cette époque.

Les travaux furent remarquables, puisqu'ils descendaient à une profondeur de 20 m en dessous du *Klangbaach*. On exploitait dans cette colonne minéralisée, appelée aujourd'hui Cheminée des

Anciens, à côté de la chalcoppyrite, de l'érubescite (terme obsolète synonyme de bornite), également du zinc et de l'argent. La fonderie et les scories cuprifères mentionnées par Beaunier en 1803 montrent que le minerai a été fondu sur place, à l'aide de charbon de bois provenant de l'*Akeschterbësch*. Aujourd'hui encore on retrouve des traces de ce traitement du minerai. La coupe à travers le *Goldberg* illustrée ci-jointe montre les galeries et les puits des Travaux Anciens ainsi que la sortie de la galerie d'exhaure. (fig. 2.2)

Les infiltrations fréquentes d'eau, relatées les 8 mai, 12 mai et 17 décembre 1770 et le 21 février 1771, surtout aux alentours de l'ancienne extraction, rendaient le creusage de plus en plus difficile. Le manque de moyens techniques et surtout la disparition de l'ingénieur de mine Mock avec le contenu de la caisse ont conduit à la fermeture de la mine de cuivre en juillet 1780.

Malgré ces difficultés l'entreprise a dû être dans une certaine mesure rentable. Du moins Ferdinand Pescatore, fils de A. Pescatore, s'est exprimé dans ce sens auprès de l'inspecteur forestier, J.P. Koltz:

«Si nous avions le seau, il nous manquait la corde et inversement, mais les affaires ne sont pas allées si mal que ça. En fait, après 22 mois d'activité en l'an 1770, 8.800 livres de minerai de cuivre avaient été extraites en tout.»

2.7. La mine sous le régime français (1795-1814)

Après la guerre de la France contre la Prusse et l'Autriche, le territoire luxembourgeois fut incorporé à l'Etat français. Ainsi les lois des mines françaises étaient d'application et comme la mine a été abandonnée, la concession de A. Pescatore revenait à l'Etat. A partir de ce moment le fisc demandait aussi des redevances aux concessionnaires de mines.

Sous le gouvernement français les frères Guérain de Saint-Lô et Lille (11 septembre 1798, 26. Fructidor VI) ainsi que le citoyen Vandenbrück de Greisch (15 août 1800, 24. Thermidor VIII) avaient décidé de requérir une concession. Apparemment

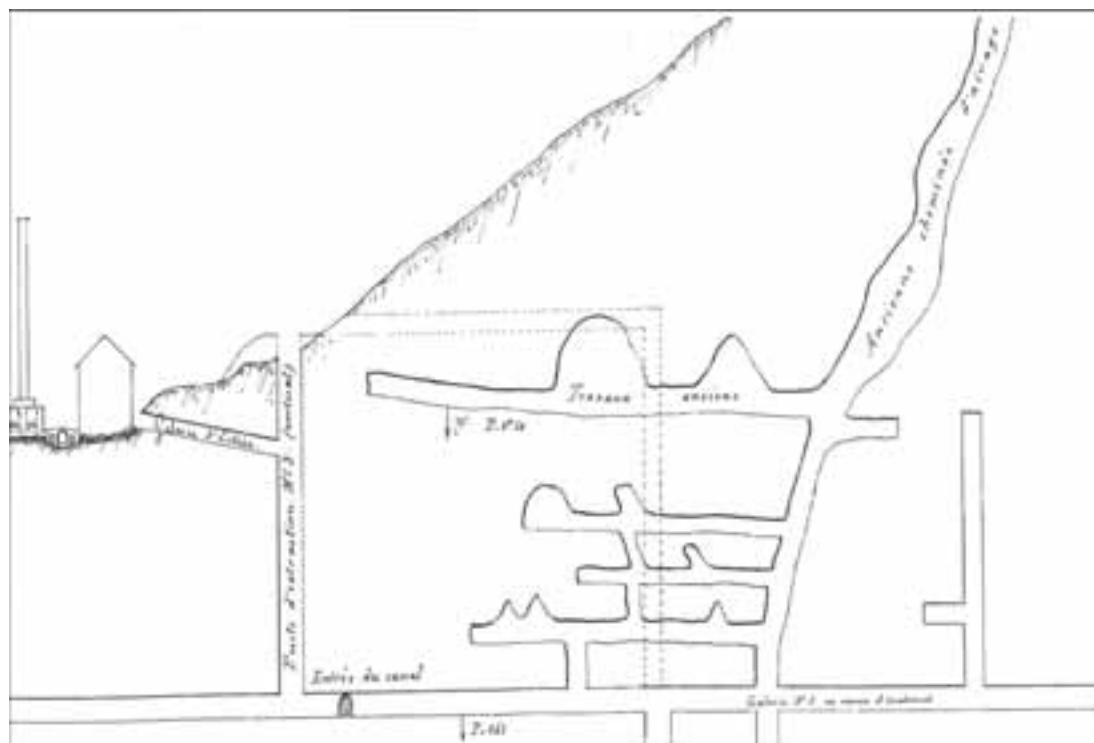


Fig. 2.2: Coupe de la mine dans le Goldberg localisant les travaux anciens.

plusieurs puits et galeries ont été creusés à ce moment, mais aucune autre indication n'est disponible.

Dans un rapport très détaillé, rédigé par l'ingénieur des mines M. Beaunier en 1803 sur demande du préfet du Département des Forêts, on peut lire les projets promoteurs du gouvernement concernant la mine:

- la construction d'une forge actionnée par l'eau de la *Klangbaach*;
- une deuxième forge à soufflet, marteau de broyage et laminoir le long de l'Our;
- élargissement de la clientèle: les «Calamines de Limbourg et du Pays de Juliers» à Stolberg près d'Aix-la-Chapelle, Namur et Givet auraient utilisé le minerai de cuivre précieux dans leur

fabrication de laiton. Du cuivre métallique extrait du minerai pour la marine devrait arriver aux ports de Flandre par la Sûre, la Moselle et le Rhin;

- l'utilisation de mulets pour le transport du minerai de cuivre de la mine jusqu'à l'Our. Les moyens par lesquels les produits devaient accéder aux voies de communication principales restaient même pour Beaunier une énigme.

Une analyse du minerai de cuivre, mise en œuvre par le citoyen W. Roux de Genève (fig. 2.3), relevait une teneur en cuivre de 25 à 28 %. Les résultats de cette analyse ont été publiés dans le «Journal des Mines, premier trimestre, 1794 (an VII)». Sur ce, Beaunier parlait d'un «trésor d'une valeur inestimable» et annonçait un prochain redémarrage de la mine. Malgré sa valeur inestimable la mine resta fermée jusqu'à ce que le gouvernement hollandais en 1818 reprenne les travaux de recherche.

ANALYSE

De la mine de cuivre de Stolzenbourg, canton de Vlanden, département des Forêts (1) ;

Par le C.^{re} W. ROUX, de Genève.

EN examinant cette mine, on voit qu'elle est un mélange de sulfure de fer, d'oxide de fer rouge et brun, d'oxide de cuivre brun, rougeâtre, de carbonates de cuivre vert cristallisé, disséminés et inter-

(1) Stolzenbourg est un village avec un ancien château, situé au pied d'un groupe de montagnes, au bord de la petite rivière d'Our, qui coule du nord au midi, se jette, à Waldendorf, dans la rivière de Sur. Les environs n'offrent que des rochers arides, et il est peu de pays plus pauvres. Les anciennes fouilles sont à 1000 mètres de cette commune, à 10, 40 et 60 mètres au-dessus d'un ruisseau qui arrose une petite vallée latérale extrêmement étroite. Abandonnées depuis long-temps, c'est des halles qui les avoisinent que le C.^{re} L. Güter, sous-inspecteur des bois de la division d'Elzwe, a renvoyé l'échantillon qu'il a envoyé à la régie de l'enregistrement, et que le conseil des mines a fait analyser. Il paraît avoir examiné en ce lieu des travaux considérables; mais le produit de l'exploitation n'ayant pas compensé la dépense, ils furent abandonnés vers l'année 1780, après 45 ans de durée avec plus ou moins d'activité. Il existait un fourneau pour la fusion du minerai, au pied même de la montagne, sur le ruisseau dont on a parlé ci-dessus; on en retrouve à peine des vestiges. A la distance d'une heure et demie ou deux heures de marche, est la forêt d'Irten, qui pourrait fournir en quantité suffisante les charbons nécessaires.

La gangue de cette mine est du quartz perlé, c'est-à-dire, du carbonates de chaux combinés avec du carbonates de fer. Le C.^{re} Pargenit a trouvé, comme le C.^{re} Roux, que les échantillons analysés contenaient au moins vingt-cinq pour cent de cuivre.

Si les gîtes qui renferment ce minerai sont abondans, il y a lieu de penser que l'exploitation peut en être reprise avec avantage.

2.8. La concession sous le gouvernement hollandais (1815-1830)

A partir de 1815, les Luxembourgeois devaient supporter les dettes du royaume néerlandais. Le gouvernement hollandais espérait contrarier au manque de fonds publics en levant plus d'impôts et en cherchant de nouveaux revenus. Dans l'espoir de faire de grands profits pour le trésor public, l'ingénieur des mines Delpaire a été chargé d'estimer les frais de réouverture de l'entreprise.

Cette étude de faisabilité nous apprend beaucoup sur les travaux sous terre durant cette période. Dans les fonctions principales Delpaire avait prévu un directeur de mine et un comptable. Pour les travaux il lui fallait 2 forgerons, 1-2 charpentiers ou menuisiers, 12-13 prospecteurs, 6 personnes pour le traînage et 3-4 manoeuvres. Le directeur et le comptable recevaient un revenu annuel, tandis que les mineurs étaient payés au jour. Il est étonnant que le comptable gagne 4,6 francset que le directeur ne gagnait qu'environ 4 francs! Le forgeron en gagnait 2, le menuisier ou charpentier 1,50, le prospecteur 1, le porteur 0,60 et le manoeuvre 0,80. D'après des rapports de l'époque, les mineurs acceptaient ce travail dur malgré ce salaire modeste. En fait, pour les gens, vivant déjà dans des conditions misérables, le

Fig. 2.3: Analyse du minerai de Stolzenbourg par W. Roux (1794).

travail saisonnier sur les champs rapportait encore moins que le travail à la mine.

D'après Delpaire il faudrait deux ans pour trouver le filon principal. Durant ce temps les coûts se montaient à 58.000 francs. Les travaux préliminaires coûteux commencèrent le 18 septembre 1820 sous la direction de l'ingénieur des mines Jules Lachapelle, après que le gouvernement eut accordé un crédit de 9.000 guldens.

Une galerie d'exhaure d'une longueur de 374 m était prévue, mentionnée comme galerie Nr.2 (fig. 2.4). Celle-ci, d'orientation est-ouest, devait atteindre la veine de minerai entre 27 à 30 m en dessous du niveau du fond de vallée. Jusqu'à cette profondeur la mine de cuivre devait ainsi être libérée de l'eau pénétrante. La galerie fut commencée environ 300 m en aval de la rivière et 285 m au-dessus du niveau de la mer vers l'Ouest. Après seize mois, 272 aunes (environ 218 m) avaient été creusées et quatre puits de galerie terminés. Ceci équivalait donc à un avancement de 18 m par mois.

En janvier 1822, J. Lachapelle quitta Stolzenbourg, apparemment pour cause de maladie. Sans en informer le ministère de tutelle, «ministère du Waterstaat», Henri Laviolette engageait, avec le consentement de J. Lachapelle, la «compagnie de Weyller». Celle-ci se composait de trois équipes de deux ouvriers (Jacob Mentz & Mathieu Abes; Schneider Stofels & François Wallendorff; Pierre Abes & Jean Weiers) et était nommée d'après la localité de Weiler.

Proposée par J. Lachapelle et exécutée par Laviolette, la suite des travaux de la galerie d'exhaure fut adjugée publiquement. Ainsi Jean Staudt de Stolzenbourg eut le premier appel d'offre. Il devait creuser 10 aunes et gagnait une somme fixe par aune. Le deuxième appel d'offre fut pour Jean Stecker, qui devait creuser 30 aunes et était payé d'après un accord verbal. Le troisième appel d'offre sur 30 aunes était pour Jean Weyller, premier bourgmestre de la commune Pütscheid, après qu'il eut déjà creusé 8 aunes pour son propre compte. Comme à ce moment le crédit de 9.000 guldens était épuisé, les travaux ont été stoppés et Lachapelle s'arrangeait avec J. Weyller sur le paiement des travaux déjà accomplis.

Sans l'accord de son ministère, J. Lachapelle permettait en septembre 1822 au directeur Laviolette de continuer les travaux de mine avec la promesse d'être payé aussitôt que de nouveaux fonds seraient disponibles. Ainsi du 28 novembre 1822 au 27 décembre 1823 Laviolette et ses ouvriers, la «compagnie de Weyller», allongeaient la galerie d'exhaure de 66 aunes (environ 53 m) vers l'Ouest. La compagnie gagnait 25 Guldens par mètre. Durant cette période Laviolette avait aussi dépensé 323 guldens pour du nouveau matériel. A partir des avertissements de la maison de commerce Juttel de Diekirch, existant encore aujourd'hui, on sait que les factures n'ont pas été payées durant une période assez longue. La raison pour laquelle les travaux furent suspendus en décembre 1823 n'est pas connue.

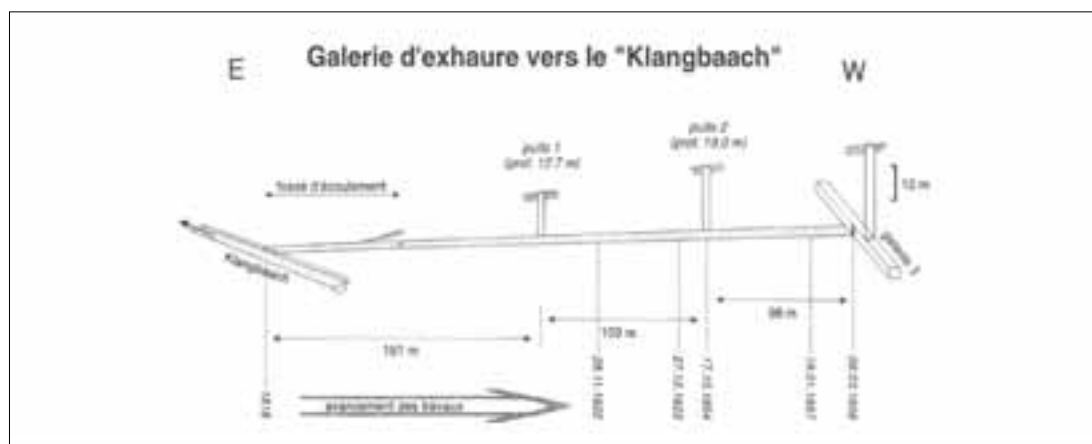


Fig. 2.4: Plan de la galerie d'exhaure dans le Klangbaach, galerie n°2 (dessin S. Philippo).

Durant cette période Lachapelle rédigeait quelques rapports décourageants au gouvernement, dans le but d'inciter ce dernier à libérer la concession. En même temps il soutenait la « compagnie de Weyller ». Ces 'incohérences' ont poussé le commandant de l'état major du régiment à donner à Lachapelle en 1825 le surnom de « gredin ».

Devenu méfiant, le gouvernement chargeait, le 14 janvier 1824, le futur ingénieur des mines Durieux de rédiger un rapport détaillé sur la Compagnie de Weyller. De la correspondance qui suivait avec Laviolette, il ressort que celui-ci avait, depuis septembre 1822, exécuté aveuglément les contrats de J. Lachapelle, qu'il présentait encore comme son supérieur. Pendant ce temps le citoyen Lachapelle avait cependant filé en douce vers la France, en emportant tous les plans et documents importants de la mine. Laviolette restait impayé pour son activité de dix-neuf mois, jusqu'en 1825.

Après sa visite à Stolzembourg le commandant de l'état major du régiment Vanjeweeten (signature illisible) rédigeait le 13 septembre 1825 un rapport spécialement encourageant (fig. 2.5). Les travaux accomplis jusqu'à ce jour y furent décrits, incluant la galerie d'exhaure de 270 m, 5 puits et deux bâtiments. Dans le premier bâtiment (22 x 24 m) se trouvaient la maison du magasinier et les quartiers du directeur de mine; dans le deuxième (33 x 7 m) étaient installés, sous le même toit, la chambre du portier, le bureau du contremaître, la réserve de poudre ainsi que le stock de charbon de bois. Ici les pièces étaient si basses qu'un homme de haute taille ne pouvait se tenir debout. A quatre pattes on atteignait par la porte du premier étage les pièces où était gardé le matériel des artisans, les cordes et le minerai de cuivre extrait. Bâties directement contre la roche, les constructions couvertes de toits en paille, montraient bientôt les premières traces de délabrement.

C'est par la population des alentours de Vianden que le major Vanjeweeten apprit des découvertes de minerai prometteuses à la mine de cuivre de Stolzembourg, ainsi que de l'exploitation impressionnante au temps de A. Pescatore. Le major Vanjeweeten recommandait que ce serait d'une grande utilité de reprendre au plus vite les travaux de recherche en dessous des vieilles exploitations de A. Pescatore et de terminer la galerie d'exhaure. Ainsi souhaitait-on engranger le profit espéré et apporter un salaire moins modeste à la population autour de Stolzembourg. Le minerai de cuivre

devait être transporté aussi vite que possible et à bon coût par voie fluviale vers les manufactures: la firme Cockerill à Liège, l'arsenal à Delft et Anvers, la fonderie de canons de Liège et La Haye. Le minerai de cuivre servait surtout à la production de coussinets, crochets de chaudière et écrous pour vis indicatives. Un extrait du rapport du major Vanjeweeten du 19 septembre 1825 décrit les possibilités de vente du cuivre, l'extraction sous A. Pescatore et sous le gouvernement français (fig.2.5.).

On n'a toutefois pas tenu compte de cette lettre. La mine resta close à partir de 1825 et la totalité du matériel des artisans fut confié au citoyen Weyler de Pütscheid pour conservation. Le gouvernement décréta en outre, le 17 juin 1828, la réparation et la protection des installations. Depuis le calme règnait de nouveau autour du Goldberg.

En 1826, Stolzembourg est incorporé dans la commune de Pütscheid. Johann Weiler de Pütscheid en devient premier bourgmestre. La compensation de 6 guldens par mois qui lui avait été promise n'a jamais été payée. Le 14 octobre 1847 le gouvernement décida de céder les matériaux à monsieur Weyler comme compensation de ses dettes d'un montant de 1445 guldens.

L'extraction sous le gouvernement hollandais se soldait donc par des pertes considérables pour le trésor public. Le crédit de 9.000 Guldens a surtout servi à effectuer des travaux à la galerie d'exhaure. Il n'y a aucune preuve de l'investissement des 10.000 Guldens demandés par le major Vanjeweeten dans la mine. Des experts, entre autres Beaunier et l'ingénieur belge Engelsbach-Larivière, ont attribué l'échec à l'incapacité de la direction technique. La période active de l'extraction hollandaise était ainsi terminée.

En 1828 Constant d'Hoffschmidt, habitant Vianden et surveillant de la mine de cuivre, a été chargé par la société de faire une prospection aux environs de Vianden. Dans les localités *Merendall* et *Niclausberg*, entre Vianden et Grauenstein et distantes de 1700 m de la mine de Stolzembourg, une veine de minerai de cuivre a été découverte. L'exploitation fut suspendue durant la révolution belge en 1830. Des traces sont toujours visibles dans le *Merendall*.

Le 9 juillet 1828 le gouvernement hollandais accordait la concession à John Cockerill de Seraing/Liège. Pourtant ce dernier n'ouvrira jamais la mine.

En 1830, la «Société du Luxembourg» manifestait pour la première fois son désir d'acquiescer la concession. La révolution belge empêcha le droit d'usufruit d'être accordé.

2.9. Les suites de la révolution belge (1830-1839)

Lorsque les Belges refusèrent d'accepter plus longtemps la souveraineté du roi de Hollande Wilhelm I (Guillaume I), les Luxembourgeois, bien qu'après quelques hésitations, décidèrent de participer à la révolution belge (26 août 1830). Celle-ci apportait l'indépendance aux provinces belges de Hollande, ainsi qu'une constitution libérale et progressive. Le Luxembourg restait propriété privée du roi hollandais. Ce dernier continuait de lever de façon illégale des impôts au Luxembourg pour régler les dettes de l'Etat. Ceci renforça le mécontentement du peuple luxembourgeois envers le règne autocrate du roi et provoqua des agitations très répandues.

Les voies commerciales déjà sous-développées n'étant presque plus entretenues, tombèrent en ruine. Ceci rendait le transport et l'exportation de produits locaux plus chers. Tout espoir d'une ouverture de la mine fut anéanti et la concession abandonnée.

Conformément à une décision gouvernementale du 14 janvier 1839, la surface utile bâtie fut rendue à ses propriétaires qui furent en plus dédommagés avec 500 francs pour tous les dégâts et pertes de revenu de ces surfaces boisées et agricoles. En revanche les propriétaires étaient tenus d'enlever le matériel restant. De cette façon l'Etat a abandonné le sol, le matériel de construction et les outils d'artisan de la concession.

Pendant la période après la déclaration d'indépendance du Grand-duché du Luxembourg (19 avril 1839) on rencontre à nouveau le nom d'Antoine Pescatore comme personne intéressée par la mine. Le petit-fils du susmentionné concessionnaire de 1768 présentait le 2 janvier 1847 une demande au collège de gouvernement. Il offrait cinq centimes par hectare pour l'utilisation de la surface. Par lettre du 28 avril 1856, il retirait sa demande en faveur de l'entreprise belge «Godin-David et Co.», formée plus tard.

2.10. L'autorisation de Joseph Francotte (1853-1854)

En 1852 Philippe Jung de Bonn (province du Rhin, Prusse) essayait d'obtenir la concession. Comme sa demande ne correspondait pas aux dispositions juridiques, elle a été refusée par le gouvernement grand-ducal.

Joseph Francotte, un industriel de Huy (Belgique) eut plus de succès. Le 3 août 1853 il soumit une demande pour travaux d'exploitation sur le terrain de la commune de Pütscheid-Stolzembourg (fig. 2.6). Dans cette démarche, J. Francotte avait demandé des permissions écrites des propriétaires, comme on peut le lire sur la figure 2.6. Le 25 août 1853 l'administrateur général des bâtiments publics lui concédait l'autorisation pour une année, sous condition de ne jamais interrompre les travaux pendant plus d'un mois.

Entretemps, dans la partie supérieure de la mine, plusieurs puits s'étaient écroulés, quelques galeries s'étaient effondrées suite à la pénétration de l'eau et la galerie d'exhaure était partiellement bouchée. Ainsi les travaux d'évacuation, bien que progressant rapidement, demandaient beaucoup de temps. D'après le rapport de l'ingénieur en chef de l'époque les travaux ont été commencés sur deux fronts. Tout d'abord on cherchait la veine de minerai dans la vallée du *Klangbaach* et ensuite on prospectait de nouveaux filons dans les environs.

2.11. Les travaux d'exploration près de Stolzembourg

La galerie d'exhaure d'orientation est-ouest, commencée sous le gouvernement hollandais, fut déblayée sur ses 261,25 mètres. Seuls 140 m de roche séparaient les 7 mineurs, travaillant nuit et jour, de la riche veine principale, dont la partie supérieure avait déjà été largement exploitée. La durée des travaux était estimée à deux ans pour atteindre les veines de minerai tellement importantes. La galerie de drainage avait une longueur totale de 393 m, dont 90 m à l'air libre. Dans la direction longitudinale de la galerie d'exhaure, entre l'entrée de la galerie et le puits d'extraction, deux puits furent creusés:

- le puits I: de l'extérieur un puits existant a été creusé jusqu'à 12,67 m de profondeur

Stolzenbourg, le 3 avril 1853.

A Monsieur le Gouverneur Civil du
Grand-Duché de Luxembourg.

Monsieur le Gouverneur,

Les propriétaires propriétaires des communes de
Pöschel, Stolzenbourg, les sieurs J. Hoyer, H. Hoyer,
H. Hüter, J. Hüter, G. Festerich et P. Duanich ont
autorisés par acte sous seing privé en date des 11, 12 19 juin
à faire des recherches de mines que peuvent se faire
sous leurs propriétés.

En vertu de cet acte, je vous, Monsieur le Gouverneur,
vous demande de bien vouloir m'autoriser à faire ouvrir
les anciens puits galeries et les puits nouveaux et
qui se trouvent sur la montagne de Goldeng et dans la
vallée du Kléang. Tous ces anciens travaux sont situés
sur les terrains appartenant aux personnes nommées
ci-dessus qui ont été autorisés à faire des fouilles.

Cette autorisation, Monsieur le Gouverneur, me
demande les moyens de reconnaître l'état de ces mines
de minerai en mine, lorsque j'en ai constaté l'existence
par mes travaux de recherches, je m'empresse de
vous adresser une demande en concession de mines
conformément à la loi.

Dans l'espoir que vous voudrez favorablement
me donner, Monsieur le Gouverneur,
mes salutations respectueuses

12/ J^e Francotte.

Joseph Francotte
chez H. Pöschel-Clayton
Grand-Duché
Luxembourg.

Fig. 2.6: Demande de travaux d'exploitation par J. Francotte (1853).

pour atteindre, à une distance de 181,26 m de l'entrée, la galerie de drainage. Ceci permettait l'extraction des décombres de roche de la galerie de drainage.

- le puits II se trouvait à 109,80 m du puits I. Sa profondeur était probablement de 19 mètres. La veine principale se trouvait à 90 m du puits II. Ce dernier ne pouvait être réparé que sur 8 mètres à cause de l'eau qui s'y était accumulée. Il était sensé servir comme deuxième point d'attaque à la galerie de drainage.

2.12. Les travaux d'exploration près de Pütscheid

En décembre 1853 un puits d'exploration était creusé près de Pütscheid, à 1800 m au Sud du *Klangbaach* et 68m au-dessus du fond de la vallée. A 3 m de profondeur le puits toucha une veine d'une puissance de 0,80 m. Aux alentours des salbandes, le filon contenait, à côté de la chalcopryrite et du spath de fer, du quartz et de la barytine. Le milieu de la veine était rempli de glaise et de fragments de l'encaissant. Ce puits drainait aussi beaucoup d'eau. Une petite galerie de drainage d'une longueur de 30 m, plus profond de 1,20 m que l'ouverture du puits, devait évacuer l'eau. En fin de compte le puits fut rebouché à cause de l'infiltration massive d'eau (1854).

Par une petite galerie d'exploration, entre les deux galeries de drainage, on avait également découvert une veine de minerai. Le rapporteur indiquait toutefois la nécessité de continuer les travaux de recherche.

En se basant sur les constatations des travaux d'exploration, J. Francotte était pressé d'obtenir une concession. Ceci fut le coup d'envoi pour l'exploitation la plus importante du 19^e siècle.

2.13. Les travaux de recherche de la société des mines de Stolzembourg (1854-1856)

Avec le consentement des propriétaires et avec la prolongation de la permission par le gouvernement luxembourgeois de novembre 1854, Joseph Francotte continuait les travaux de recherche dans

la mine. Ces travaux étaient liés aux conditions suivantes:

- l'exploitation doit être distante de 10 m des routes et des bâtiments;
- la galerie doit mesurer au plus 6 m de largeur et 5 m de hauteur;
- deux galeries parallèles doivent être séparées de 4m de roche;
- le creusage ne doit pas menacer la sécurité des mineurs.

Dans le rapport de l'ingénieur en chef Wirtz du 15 mars 1856, les travaux de recherche suivants sont énumérés:

Dans la vallée de la «Klangbaach» on dégage d'abord le début de la galerie d'exhaure sur 100 m. Puis, sous terre on creuse la galerie sur 90 m pour atteindre le puits I. Celui-ci est renforcé sur ses 12 m de profondeur. En plus on évacue sur une longueur de 80 m les déblais, toujours en direction sud jusqu'à atteindre la roche ferme dans la galerie. Le puits II est commencé et creusé à 8 m. Mais à cause des masses d'eau il sera abandonné, sans être complété. Il était destiné à permettre aux ouvriers d'avancer la galerie à partir de deux points. Ainsi on retournait sous terre et on continuait de creuser, ce qui avec un avancement d'un mètre par semaine était très éprouvant. Le 17 octobre 1854 on atteint finalement le puits II. Ce dernier est foncé à 20 m et restauré pour faciliter l'évacuation des déblais de la galerie d'exhaure. A partir de ce puits seuls 60 m de roche schisteuse restent jusqu'à la veine de cuivre.

En 1854, près de Pütscheid dans le *Riedgerbësch*, une nouvelle galerie est creusée où on suivait une veine étroite de pyrite cuivreuse. Le 6 janvier 1855 on découvrait à 50 m de l'entrée de galerie une veine de minerai de cuivre d'une puissance de 5-7 cm. Un exemplaire de ce minerai a été donné à la *Société des Sciences naturelles* de l'époque, dont la collection se trouve dans le musée national d'histoire naturelle à Luxembourg. Après 90 m, le filon de chalcopryrite se perd dans des schistes compacts. A l'aide d'une galerie secondaire de 10 m de longueur les ouvriers tentent de retrouver la veine riche. Mais en vain. Comme J. Francotte soupçonne une apparition sporadique des filons de chalcopryrite, il termine les travaux en fin de galerie et retourne en septembre 1856 sur le site où en janvier il avait trouvé abondamment de minerai.

Ici il fonce un puits à 6,90 m de profondeur. Bien qu'assez de minerai ait été trouvé, il abandonne le puits car trop d'eau s'infiltré. Durant l'offensive Rundstedt vers la fin de la deuxième guerre mondiale cette galerie servait comme refuge. Elle a été détruite par explosion, pour éliminer des stocks d'explosifs allemands.

Rien qu'à Pütscheid 5000 kg ont été extraits. Ce fait encouragea J. Francotte à demander une concession, malgré la dépense de 10.000 francs. Ainsi, le 15 février 1855, la Société des Mines de Stolzenbourg soumettait au gouvernement luxembourgeois une demande pour la concession (fig. 2.7). Cette entreprise fut fondée le 22 avril 1854, enregistrée le 7 juillet 1854 à Liège et authentifiée le 21 novembre 1854 par le notaire Seyler de Diekirch. Elle est composée de 11 partenaires. Entre eux se trouvent bien sûr J. Francotte, A. Godin-David et la famille Delexhy bien représentée avec trois parents. La concession devait s'étendre sur 2023 ha dans les communes de Hosingen, Pütscheid, Bastendorf, Fouhren et Vianden et devait couvrir non seulement l'extraction du minerai de cuivre, mais aussi permettre l'extraction d'autres dépôts de minerai.

Le 24 mai 1856 les partenaires de la Société des Mines de Stolzenbourg s'engageaient auprès du notaire G. Biar de Liège à respecter les obligations les plus importantes, stipulées par le gouvernement luxembourgeois, contenues dans le cahier des charges, concernant l'autorisation d'exploitation minière. Après que H. Wirtz, ingénieur en chef auprès des Bâtiments publics au Luxembourg, ait émis un avis favorable envers la société, celle-ci obtient le 28 juin 1856 les droits de fouille. Ce qui sera publié le 17 juillet 1856 dans le numéro 18 du Mémorial.

Ci-après quelques exemples des règles strictes, qui contribueront à la compréhension de l'histoire ultérieure des puits:

- les fouilles de recherche doivent partir de la veine principale
- l'entreprise a le droit d'utiliser des installations hydrauliques ou des machines à vapeur
- la couverture de roche au-dessus des galeries doit avoir une épaisseur minimale de 10 m pour retenir les masses d'eau
- les puits doivent être assurés tout autour par des masses de roche suffisantes



Fig. 2.7: Demande de concession de la Société des Mines de Stolzenbourg (1855).

- les propriétaires de concessions doivent respecter tous les règlements concernant la sécurité des habitants et des mineurs (p.ex. des échelles dans les puits d'accès)
- le bon état de la mine doit être garanti
- l'autorisation de creuser de nouvelles galeries ou des installations de puits en surface doit être demandée auprès de l'Etat
- l'extension de la mine doit être cartographiée à l'échelle 1:1000
- un registre doit être tenu sur les travaux de mine, le nombre et les noms des ouvriers, la quantité de minerai extraite ainsi que sur la vente de minerai.
- il est défendu de porter la mine à bail ou de céder l'exploitation à un tiers
- par l'abandon des galeries et des puits ou le non-respect des charges, la concession peut être retirée.

En plus les lois du 21 avril 1810 et du 14 octobre 1842 du règlement fiscal restaient en place:

- pour chaque m³ de chalcopryrite gagné en dehors de la concession l'Etat réclame un paiement de 200 francs.
- les redevances fixes sont de 0,25 francs par ha, pour les 2023 ha cela signifie 505,75 francs par an.
- l'indemnisation à payer aux propriétaires fonciers était de 0,10 francs par ha.
- au cas où l'entreprise fait du bénéfice, une taxe proportionnelle au produit net est à payer
- toutes les autres lois fondamentales et règlements sont à respecter.

2.14. La Société des Mines de Stolzenbourg: première période (1856-1864)

En 1854, dans le *Riedgerbäsch (Flëssen)*, on creusait une galerie d'exploration de 80 m de long en direction nord-ouest pour n'y trouver qu'un filon de 2 à 8 cm de puissance avec peu de chalcopryrite. Les éléments principaux étaient de la terre grasse, de la barytine et du quartz. L'ouverture d'une galerie au sud de Bivels en hauteur de la vallée de l'Our s'avérait comme un travail de Sisyphe.

Dans la galerie du *Klangbaach*, du côté de Stolzenbourg, on continuait les travaux qui, depuis 4 ans, ne progressaient que lentement. De janvier 1857 à mars 1858 on faisait sauter les 30 derniers mètres de schiste jusqu'à la veine principale.

Durant 5 mois on transférait les travaux vers les vieilles installations, mais sans succès. On arrivait donc à la conclusion qu'on ne trouverait le minerai de cuivre profitable qu'à profondeur croissante. Ainsi, en mars 1858, des ouvriers creusaient le puits III jusqu'à 30 m pour ainsi faire le lien avec le 3^e niveau et la galerie de drainage. Pendant la même année on creusait la galerie nord du 3^e niveau à 31,10 m et la galerie sud, qui se trouve directement sous les vieilles constructions, à 68,50 m. Dans la partie sud on atteint, distante de 55 m de la galerie III, la galerie principale des vieilles installations. Cette dernière s'avère être très utile comme puits d'aération lors de l'agrandissement de la mine, qui se trouve à cet instant à 20 m en dessous du *Klangbaach*.

En 1859 les niveaux 3, 4 et 5 sont prolongés, le puits IV est creusé et le long du puits V profond de 5-6 m, on rencontre une colonne minérale assez riche. En tout la mine se voit allongée de 116 m en une année. En 1860 à côté du puits III un puits d'accès à échelles a été construit. Les niveaux 4 et 5 sont prolongés vers le Nord, respectivement le Sud. Les puits IV et V sont drainés à l'aide de pompes à main. Au cours de cette année la mine est étendue de 215 m, exactement 100 m de plus que l'année précédente. En 1861 on suivait les filons de chalcopryrite, qui s'élargissaient en profondeur. Le niveau 6 est développé.

Le tableau 2.8 montre clairement de quelle façon les dépenses dépassent les gains à l'amertume générale des partenaires. Aussi l'impôt foncier (505,75), fixé par le contrat, n'est pas versé au gouvernement. Des 202,30 francs de dédommagement de l'année 1858 les propriétaires fonciers n'en reçoivent que 78,75.

En 1862 A. Godin-David décrit dans un rapport pour la *Chambre de Commerce* la qualité du minerai comme prometteuse. Un échantillon envoyé à Givet avait une teneur en cuivre de 28%, un autre envoyé à Swansea une teneur de 22,75%: ceci équivalait à un prix de 403 francs, respectivement 454 francs par tonne. Par lavage mécanique on pouvait augmenter le pourcentage actuel à 25-30 %. Ainsi la vente de minerai de cuivre de Stolzenbourg, en comparaison avec du minerai de même qualité en

Tableau 2.8: Tableau des entrées et des sorties de 1858 à 1863.

Année	Minerai vendu en Tonnes	Revenus en Francs	Dépenses en Francs	Galeries creusées en mètres
1858	32	(2624)	8615	?
1859	20	1500	5700	116
1860	8.4	2465	10874	215
1861	non indiqué	845	13256	262
1862 et 63	40	6644	24062	314
1858 à 1863	prévision: 90	14278	62507	plus de 771

provenance de Chili ou d'Australie, sur le marché de cuivre de Swansea semblait profitable. Ainsi l'entreprise se décida d'y vendre son minerai à pourcentage élevé.

Malgré les frais élevés, le directeur de mine a continué les travaux avec acharnement. La ligne de chemin de fer Thionville-Luxembourg-Arlon, inaugurée en 1859, et le raccordement ferroviaire Luxembourg-Diekirch terminé en 1862 encourageaient A. Godin-David dans la recherche de nouveaux débouchés. A cet égard il rédigeait en 1862 les lignes suivantes à la Chambre de Commerce du Luxembourg: *«Lorsque la jonction Belgo-Grand-ducale sera construite, rapprochant la mine du bassin houiller de Liège, des centres industriels et du ports d'Anvers, la Société verra ses conditions économiques s'améliorer considérablement; elle sera à même d'utiliser alors trois autres produits accidentels que sa concession renferme avec une certaine abondance: la pyrite, la sidérose et la barytine.»*

Dans son rapport du 12 juillet 1864 A. Godin-David donnait des renseignements sur les travaux et la production entre 1861-1864. En 1862 les galeries sont allongées de 262 m et en 1863 de 314 m. Non seulement la profondeur croissante mais aussi les salaires en hausse font monter les frais de drainage. Ainsi, ils s'élèvent d'abord à 12 francs (1862) et puis entre 18 et 25 francs (1864). En 1864 les dépenses atteignent 24.062 francs dont 4.000 pour le drainage.

Ce rapport signale aussi un gain de 6.644 francs lors de la vente de sept wagons à 5000 kg de minerai à une fonderie à Remagen. Il souligne de même la richesse de la mine. A partir de 150 T de minerai extrait, 40 T peuvent être vendues. Une

part du minerai est préparée mécaniquement à Honnef et atteint ainsi des teneurs entre 19,20% et 23,50%. Les teneurs du minerai restant se trouvent entre 9,5% et 18% après une séparation simple dans la mine.

Avec 40 mineurs l'avancement de la galerie est de 262 m en 1862. A lui seul le puits principal a été foncé de 48 m. A 75 m sous le niveau du *Klangbaach* on attaque le 7^e niveau. Des rapports de 1862 et 1863 on ne peut apprendre que l'avancement des galeries et puits de 314,25 m. Avec l'achèvement du 7^{ème} niveau vers le sud, A. Godin-David obtient d'importantes informations sur les filons. A 24 m du puits d'exploitation apparaît une colonne de minerai d'une puissance de 0,6-1,0 m, appelée «Colonne Mittel-Süd». Il s'agit d'une bande de cuivre de 16 cm, qui de façon continue s'étire verticalement jusqu'au 3^e niveau. Début 1864 le puits VIII a été foncé le long d'une puissante colonne de cuivre, la «Colonne Mittel-Nord». Ici aussi, l'eau dérangeait considérablement les travaux.

Les dépenses (salaire, indemnisation, impôt foncier, ...), le manque d'équipement technique (broyeur, chaudière,...) et la distance vers les débouchés et les bassins houillers conduisaient à la fermeture de la mine en 1864.

2.15. La Société de Mines de Stolzenbourg: seconde période (1864- 1881)

Une lettre de H. Suttor, directeur à Ettelbrück, à l'ingénieur en chef Servering à Luxembourg, nous

indique que, pendant la période de 1864 à 1873, on ne creuse pas activement 'op der Grouf'. Jusqu'en 1880 le site reste très calme.

Par la fermeture et certaines autres inattentions, la société a enfreint plusieurs clauses du cahier de charge. Ainsi les travaux ont été abandonnés sans demande auprès de l'Administration des Mines. La *Société des Mines* n'est plus représentée par un plénipotentiaire au Luxembourg. L'Etat attend son impôt foncier et les propriétaires de terrain attendent leurs indemnités. Depuis la suspension des travaux les entrées de mine restent non sécurisées. Les plans miniers ne sont transmis que tardivement à l'Administration des Mines. S'y ajoutent 13 accusations émanant de familles se plaignant que l'eau du *Klangbaach* est devenue imbuvable.

Alors, probablement stimulé par la prospérité de l'industrie sidérurgique dans notre bassin minier, le gouvernement et quelques intéressés se rappellent de la mine de Stolzenbourg. Bien que la *Société de Mines de Stolzenbourg* ait enfreint plusieurs de ses obligations, elle refuse d'abandonner ses droits de fouille qu'elle avait acquis en toute légitimité. Un échange de lettres captivant a lieu entre N. Kirpach, directeur général de l'intérieur, H. Mouris, ingénieur des mines, H. Müllendorf, directeur de l'administration fiscale, Johann Breyer, chiffonnier de Pütscheid, J. J. Westhofen, candidat à la concession, G. Witte- nauer, représentant de la *Société des Mines de Stolzenbourg*, et A. Godin-David, directeur de la mine. Des extraits de ces lettres ont été publiés en 1948 dans la *Revue Technique* (Jg 40, n° 4, sS: 214-220). Ici comme exemple la réaction de A. Godin-David sur les menaces de N. Kirpach, de retirer les droits de concession. «*L'acte de concession donne la propriété perpétuelle de la mine, laquelle est dès lors disponible et transmissible comme tous les autres biens et donc ne peut être expropriée que dans le cas et selon les formes prescrites pour les autres propriétés, conformément au Code Napoléon et au code de Procédure Civile*». Comme A. Godin promet de reprendre les travaux, les autorités ne réagissent pas assez énergiquement contre lui. Son seul concurrent, J. J. Westhofen, perd en crédibilité lorsque Godin fait un rapport sur les difficultés de ce dernier avec la justice belge.

2.16. La période d'extraction de 1881 à 1886

Avec l'aide de riverains, J. J. Westhofen de Heggen-Baelen/Dolhain, essaye de persuader le directeur général de l'Intérieur de lui transmettre la concession de l'entreprise belge. Il promet de payer les dédommagements aux propriétaires fonciers que A. Godin leur doit encore. Ceux-ci se montent à 450 francs pour P. Diederich, 150 francs pour N. Zanter et 300 francs pour J. Weiler. Après cette promesse, 67 personnes en tout signent une pétition à l'avantage de la demande de concession de J. J. Westhofen (fig. 2.9). Sur ce plusieurs habitants et ouvriers poursuivent l'entreprise en justice pour des raisons plus ou moins fondées. Finalement la demande de J. J. Westhofen est rejetée, mais la société belge est sous une telle pression qu'elle déclare redémarrer les travaux à Stolzenbourg le 20 avril 1881. Cette relance des travaux est publiée le 20 juillet 1881 au Mémorial.

Une pompe à vapeur, placée dans une galerie, devait assurer la réussite de la nouvelle période d'extraction. Elle serait propulsée par deux installations de chaudière dans la vallée du *Klangbaach* et devait maîtriser la masse d'eau jusqu'au niveau 7. Les masses d'eau dans le puits VIII reste un problème majeur, ainsi on se concentre sur le fonçage du puits principal d'extraction. Ici, un nouveau niveau est ouvert, la 9^e galerie, en même temps vers le nord et le sud, comme on suppose un élargissement des masses de chalcopryrite trouvées dans le puits VIII dans le 'Mittel-Nord', à une profondeur croissante. Trente mineurs creusent nuit et jour jusqu'à ce que le puits d'extraction ait atteint 106 m de profondeur, c'est-à-dire 85,60 m en dessous du niveau du fond de la vallée.

Il est étonnant que les dépenses de la société soient bien connues, alors que la plupart du temps les documents sur les quantités de minerai de cuivre extrait manquent.

Malgré la reprise des travaux, les exigences des propriétaires fonciers et une politique locale hostile ne diminuent pas. Même les fournisseurs et les gendarmes ne paraissent pas particulièrement serviables. Le 20 octobre 1884 Ch. Donckier, ingénieur des mines de la société belge, écrit un rapport à l'attention de son directeur A. Godin-David. Dans cette lettre il décrit avec un extrême découragement toutes les difficultés, hostilités



Fig. 2.9: Pétition signée par 67 personnes en faveur de Westhofen.

ainsi que les débats judiciaires qui viennent de démarrer:

«...Notre premier adversaire a été un habitant bien connu de Stolzenbourg qui cumule avec la profession de chiffonnier celle, peu estimable, d'avocat de village et de redresseur de torts. ...D'après le rapport de nos ouvriers, il tient des conciliabules nocturnes avec un autre habitant du village, conseiller communal celui-là, et les dignes associés recherchent en commun d'autres moyens de tracasser la société. Ils accusent auprès des habitants d'empoisonner les eaux du ruisseau ...

...Après le marchand de fer, c'est un chef ouvrier qui nous traduit en justice pour obtenir des dommages intérêts considérables parce que nous avons donné suite à sa démission qu'il nous a jetée à la tête un jour où nous lui reprochions des négligences graves et répétées dans son service. Ayant quitté la société et revenu au calme après six semaines de réflexion, il nous conteste le droit de renoncer à ses services. ...

...C'est bien par l'application d'une doctrine socialiste que nous allons être condamnés, la justice ne prononce pas suivant les termes de l'arrangement intervenu entre parties, elle fixe le taux du salaire.

...Pendant longtemps ces difficultés déjà si graves ont été augmentées par les tracasseries journalières de la gendarmerie de Vianden qui intervenait à tout propos et sans propos dans nos affaires. Tantôt le brigadier nous donnait le charitable conseil de céder aux exigences d'un propriétaire parce que s'il venait de gagner un procès contre nous, le gouvernement nous retirerait la concession de la mine.

...La plupart des négociants et commerçants auxquels nous avons dû nous adresser nous ont exploités et rançonnés de même que les propriétaires des terrains. ...

...Ces difficultés et ces tracasseries sont le résultat du défaut d'expérience de la population et de l'administration dans les choses de l'industrie des mines et disparaîtront successivement à mesure que sont mieux appréciés les procédés corrects et honnêtes de la société.»

Dans cet écrit un accident mortel est également évoqué. En mars 1884 un ouvrier est tombé d'une échelle. Le tumulte parmi les habitants et les travailleurs a conduit à une suspension temporaire des travaux. A cause du manque d'ouvriers, la mine fut presque inondée. La société soumit en même temps une demande pour la construction d'une nouvelle réserve de poudre dans la pente du Goldberg. Ce projet fut retardé par la résistance de la population et abandonné par la fermeture.

Lorsque le fisc réclamait son impôt foncier de 584,15 francs, A. Godin-David niait la somme avec une réplique insolente:

«...Si je sais bien calculer, 10 fr. par kilomètre carré représentent 10 centimes par hectare et comme notre concession a une étendue de 2023 ha, sa redevance fixe ne devrait être que de 202,3 francs; que signifie donc cette somme de 584,15 francs, plus que le double qu'on nous réclame.

Tableau 2.10: Tableau des dépenses de 1881 à 1883.

Année	1881	1882	1883
Frais de démarrage	8143	14876	2886
Frais de main d'œuvre	2957	14480	19294
Frais d'extraction, charbon	1700	8800	18658
Total	12800	38156	40838

...et parce que la crise industrielle a arrêté momentanément nos travaux, voilà que l'administration oublieuse des services indirects, nous fait tout à coup surgir une demande intempestive d'argent à laquelle elle n'avait jamais songé jusqu'ici. Cet inqualifiable procédé ...a probablement pour cause l'ardeur trop zélée de quelque bureaucrate.»

Les incitations malveillantes, et entre autres la chute des prix du cuivre, ont de nouveau conduit, le 9 mars 1886, malgré le minerai trouvé, à la fermeture de la mine de Stolzenbourg. Les matériaux de mine sont offerts peu après à la vente.

2.17. Les suites (1886-1899)

Avec la fermeture de la mine la guerre d'administration commencée depuis 1880 recommence de plus belle, à cause des infractions aux cahiers des charges et à cause des impôts fonciers dus. Alors, en 1888 Monsieur De Bay de Bruxelles qui a recherché du pétrole en Egypte, s'intéresse à la mine. Les différentes étapes de cette requête nous échappent encore.

Le 15 avril 1891 A. Godin-David annonce que la Société des Mines de Stolzenbourg veut céder sa concession à l'État luxembourgeois. Le 15 février 1892 l'Acte de Rétrocession est achevé chez le notaire G. Biar à Liège par les partenaires de l'époque. Conformément à l'art. 539 du code Napoléon la mine de cuivre devient ainsi à nouveau un bien vacant.

Il est remarquable que ce document si important, bien que transféré au gouvernement luxembourgeois, n'ait pas été considéré par ce dernier. On n'a jusqu'aujourd'hui pas d'informations au sujet d'une procédure juridique, comme la loi le prévoit et comme le propose le *Conseil du Mines* le 25.03.1893. La *Société des Mines de Stolzenbourg* garde ainsi tous les droits de creusement.

Le 3 février 1899 l'association lorraine d'industrie minière pose une demande pour la concession et y ajoute le 7 mai des précisions sur les partenaires (Adolf Thiry de Esch/Alzette et C. A. Schoenborn de Cologne) et leurs activités (exploitation de minerai de fer à Rédange en Lorraine). La demande est refusée par le gouvernement car d'une part, de nouveaux arguments pour une exploitation profitable ne sont pas indiqués et d'autre part, parce que la situation de propriété n'est toujours pas claire.

Au 1 juillet et au 17 septembre 1899 la *Société des Mines de Stolzenbourg* annonce la reprise prochaine des travaux miniers. En plus la société communique que P. Willière sera leur représentant au Luxembourg. Ainsi, elle donne suite au cahier des charges. Des documents prouvant un démarrage effectif n'ont cependant jamais été retrouvés.

2.18. L'association luxembourgeoise des ingénieurs et industriels (1901-1904)

Le 25 août 1901, la *Société des Mines de Stolzenbourg* concède une autorisation d'exploitation et de recherche de minerai à plusieurs ingénieurs et industriels luxembourgeois, pour une durée de deux ans, avec les clauses retenues notariées suivantes:

- les installations encore présentes sur le site sont mises à disposition des nouveaux exploitants.
- le minerai exploité leur revient
- en contrepartie les ingénieurs et industriels luxembourgeois doivent prendre en charge tous les droits conventionnels de l'acte de concession de 1856, ainsi que tous les risques d'exploitation, c'est-à-dire payer toute somme due à l'État, aux communes et aux personnes privées.

- si après deux années les ingénieurs et industriels sont en mesure de fonder une société, on leur cédera la concession, libérée de toutes les charges fiscales et hypothèques, ainsi que toutes les machines et installations de la mine pour une somme de 63.000 francs.

Le 9 décembre 1900 on révisait le premier contrat avec les compléments suivants:

- en cas de moyens financiers insuffisants les signataires ne doivent se porter garants que pour l'équivalent de leur part.
- les messieurs P. Willière, N. Pier et F. François disposent à tout moment du capital d'investissement auprès de la banque Bech-Tschiderer à Diekirch.
- la totalité des frais de prospection ainsi que toutes les taxes doivent être réglés avec le capital engagé.
- il est possible pour les nouveaux partenaires d'acquérir des parts de fondateurs comme contrepartie de travaux de prospection, d'éventuelles études ou de minerai de cuivre extraits.

À cause des compensations impayées depuis 1856 le gouvernement luxembourgeois refuse la reprise des travaux en hiver 1900. Après des négociations de plusieurs mois, les ingénieurs et les industriels conviennent alors de payer une compensation de 1.100 Fr. Une assurance accident pour les travailleurs de mine et une assurance incendie pour les bâtiments reconstruits sont signées. Dans les bâtiments se trouvent deux bureaux, un logement pour le surveillant de la mine, une forge, une réserve à poudre, la chaudière et les réserves de charbon.

Le directeur de mine J. Meder décrit assez précisément comment on extrait vers 1901. Une pompe duplex qui est liée par un système de tubes à une chaudière du type Mathot (chauffage 37 m³ pour 7 bars) évacue 35 m³ d'eau par heure à partir du 9^e niveau. Les mineurs parviennent en profondeur par les galeries et les puits. Dans ces derniers des échelles, généralement d'orientation diagonale mais parfois aussi verticale, ont été fixées. Pour faciliter la longue montée l'ouvrier trouvait tous les 8 m une plate-forme pour se reposer. Le puits d'extraction principal incliné de 65° est équipé de deux rails ferroviaires entre lesquels des barreaux sont attachés qui doivent faciliter la sortie.

Toutes les masses rocheuses sont tirées vers le haut par le puits d'exploitation principal. Un manège de chevaux tire les wagonnets basculant sur les deux rails à 12 m au-dessous de l'ouverture de puits. Ils y sont déchargés dans des wagons d'extraction qui sortent horizontalement par la galerie d'entrée: soit vers le tas de déblais, si le chargement est stérile, soit vers le descendeur, s'il est cuivreux. En bas le minerai est lavé et ensaché (sacs de 50 kg).

Le 18 août 1901, 66 m du puits d'exploitation principal ont été drainés avec la pompe mobile. Les déblais qui se sont amassés dans le 3^e niveau depuis la dernière fermeture, sont évacués et l'entrée du puits d'exploitation principal, qui sert d'ascenseur pour les wagonnets basculants, est renforcé par une maçonnerie solide.

D'octobre 1901 à mai 1902 le 9^e niveau est prolongé de 45 m vers le Nord. Deux masses de chalcopryrite atteintes après environ 35-37 m, épaisses de respectivement 3,20 m et 3,40 m et d'une puissance d'environ 40-50 cm, on fait l'objet d'une grande excitation. Elles sont considérées comme la suite des veines découvertes au 3^e niveau.

Avec l'avancement de la galerie les ouvriers ont découvert un affleurement au sol, qui malheureusement ne se poursuivait pas jusqu'au plafond. Le 9^e niveau n'indique alors plus que de petites accumulations de chalcopryrite et ainsi on retourne jusqu'à 45 m de la galerie. Ils espèrent qu'en virant à gauche, ils suivront le filon productif de minerai, or celui-ci disparaît près d'une faille.

Ils décidèrent alors de foncer le puits VIII le long de la veine minérale principale, qui s'inclinait ici de 60-65° vers l'Ouest. Mais à moins dix mètres le filon de la chalcopryrite prend une inclinaison presque à l'horizontale. La veine est d'une largeur de 0,60-0,70 m et la chalcopryrite a une puissance de 0,15-0,20 m. Aussi trouve-t-on le filon minéralisé principal dans la 10^e galerie, creusée à 15 m vers le Nord, après un mètre du point de départ.

En prolongeant le puits VIII de 16,50 m on pouvait ouvrir la 11^e galerie. Dans les 10^e et 11^e galeries on retrouve les accumulations de minerai du 9^e niveau. Celle-ci est prolongée de 200 m vers le Sud. L'ankérite de la gangue contient beaucoup de petites veines minérales, qui sont toutefois fortement altérées par les eaux d'infiltration. Malgré tout on est content du résultat.

Tableau 2.11: Types de travaux des ouvriers et salaires journaliers y référant.

nombre	Corps de métier	salaire journalier en francs
21	Mineur, manœuvre	3.65
4	trieurs	1.50
2	mécanicien de pompe en surface	4.00
2	mécanicien de pompe en mine	3,5 à 3,75
6	déchargeur	3.00
1	forgeron	4.00
1	charpentier	4.25
4	manoeuvre	3.00
2	extracteur de minerai avec ses chevaux	8.00

L'infiltration d'eau de 10-11 m³ par heure est maîtrisée à l'aide de deux pompes. L'une, d'une performance de 15 m³/h, est placée dans le puits d'exploitation principal qui est foncé maintenant à 110 m. A cette profondeur un puisard de 80 m³ de capacité est creusé, pour collecter les masses d'eau en cas de dysfonctionnement des pompes.

Durant les travaux de recherche 43 ouvriers étaient employés. En surface, ces derniers devaient travailler pendant 12 heures et sous terre pendant 8 heures (tab. 2.11).

D'octobre 1901 à mai 1902 on extrait environ 25 tonnes de minerai avec la teneur en cuivre suivante (tab. 2.12):

Un wagon de chemin de fer avec du minerai de cuivre d'une valeur de 3000.-Fr est envoyé à la *Compagnie Maritime et Commerciale* à Anvers.

Tableau 2.12: Quantités de minerai extraites et teneur respective en cuivre.

Lot	Minerai de cuivre tout venant	teneur en cuivre
A	1987 kg	28.70%
B	7883 kg	23.63%
1	1539 kg	25.86%
2	1778 kg	24.67%
3	4472 kg	20.07%
4	7572 kg	8.78%

Les coûts de transport sont très élevés, puisque la mine est à l'écart et n'a pas de voie d'accès. Ainsi, le transport d'un chargement ferroviaire de charbon coûte plus (171.-Fr.) que le combustible lui-même (150.-Fr). Jusqu'à Diekirch l'acheteur payait 50. -FR, jusqu'à Vianden encore 21. -FR et encore 100. -FR jusqu'au puits.

Non seulement les coûts de transport mais aussi les coûts de drainage élevés épuisent rapidement le capital d'investissement, ainsi les travaux de prospection des ingénieurs et industriels seront suspendus.

2.19. La période d'extraction par la banque S. Bleichroeder (1910-1914)

La *Société de Mines de Stolzenbourg*, qui est toujours propriétaire de la concession, accorde, début janvier 1910, à la banque S. Bleichroeder, la permission, jusqu'en fin d'année, de faire des travaux d'exploration. Conformément au document privé, le nouvel exploitant doit s'en tenir à la disposition du cahier des charges de 1856. La banque assume la responsabilité pour d'éventuels accidents et s'engage à respecter toutes les directives de la loi de mine luxembourgeoise. On ne sait rien des travaux effectués cette année-là.

Le 12 janvier 1911, N. Pütz, directeur de mine à Differdange, N. Pies, entrepreneur à Luxembourg, P. Willière, directeur des chemins de fer à Diekirch, demandaient auprès du ministre d'Etat P. Eyschen

la concession, au nom de 20 personnes constituant la partie contractante. Le 4 mars 1911, pourtant, P. Willère demandait au directeur général de l'Intérieur de ne pas prendre en considération la demande. Un contrat entre les propriétaires de concession, quelques parties contractantes luxembourgeoises et belges, trois autres ingénieurs et la banque S. Bleichroeder, a été conclu en effet le 25 février 1911, dans lequel ce dernier est habilité à conduire des travaux de recherche de deux ans.

Le 1 juin 1911 J. Henrion, de la part de la banque, demande la permission de creuser une galerie de 1088 m et un puits auxiliaire. Cette galerie, la galerie de l'Our, devait faire le lien entre la mine et la route principale. Elle devait atteindre le puits d'exploitation principal à une profondeur de 90 m. Cette mesure permettrait une mise à sec naturelle de la mine jusqu'à cette profondeur et une évacuation directe du minerai de cuivre jusqu'à la route nationale connectant Vianden à Eisenbach. En plus, l'aéragé de la mine se verrait amélioré considérablement. Les nouvelles routes dans le secteur Vianden peuvent également abaisser sensiblement les frais de transport et promettent ainsi une extraction profitable.

Au début, l'objectif primordial du directeur de mine est l'achèvement de la galerie de l'Our. Pendant les travaux de recherche, cette galerie de drainage atteint la longueur suivante (tab. 2.13):

Le creusement se fait par marteaux piqueurs actionnés par de l'air comprimé. Dans le moulin Trausch à Stolzenbourg, loué par la société, un compresseur Flottmann d'une puissance de 25-28 CV actionné par l'eau fournissait l'énergie nécessaire pour cinq marteaux de perçage (fig. 2.14). Dans les galeries neuf hommes travaillent, en trois équipes de trois, en permanence et creusent

Tableau 2. 13: Avancée des travaux de percement de la galerie d'exhaure vers l'Our.

date du rapport	Longueur de la galerie d'exhaure de l'Our
01.01.1912	63 m
27.02.1912	200 m
03.05.1912	240 m
11.07.1912	290 m
23.01.1913	336 m
25.01.1913	340 m

2 m par jour. Qu'est-ce qui se passe encore dans la galerie de l'Our? En mai 1912 une réserve de poudre est installée à 100 m de l'entrée de galerie dans une galerie secondaire. On ne trouve que peu de minerai entre 20 et 40 m à 332 m de l'entrée. On le suit pendant une courte période de temps, mais sans succès.

Pour une progression plus rapide, le puits auxiliaire A est foncé au milieu de la galerie d'exhaure, long de 1100 m. A partir d'ici, à la profondeur de la galerie de l'Our, on devait travailler sur deux fronts: en direction de l'Our et en direction du puits principal. Mais à une profondeur de 26 m le creusement est stoppé par manque de pompes.

Le système d'aération est d'une simplicité et d'une efficacité extrême. Au fond du puits, l'air usagé est aspiré par une petite conduite en bois et évacué par un conduit de fumée de 8 m de haut, par l'air chaud qui sort d'un four (fig. 2.15). La dépression au fond du puits est compensée par de l'air frais. Bien que suffisant, on dresse des plans pour remplacer ce système par une installation à air comprimé plus performante.

En vue de simplifier l'évacuation des déblais dans la galerie de drainage, les seaux montés sont remplacés par un élévateur de wagonnets basculant à l'entrée du puits auxiliaire (fig. 2.16).

Lorsque le boguet citerne (O) atteint le point le plus élevé, il ouvre une trappe du réservoir d'eau (R) et est rempli. Au moment où le boguet citerne est rempli et assez lourd, il descend la pente et soulève le boguet à minerai (W) dans le puits. En bas de la pente le contenu du boguet citerne (O) s'écoule par une ouverture dans le fond. Le boguet à minerai (W) est déchargé pendant ce temps et est replacé sur la plate-forme (P). Celle-ci descend au fond du puits et tire le boguet citerne (O) vide en haut par la pente. Pour pouvoir remplir le réservoir d'eau en période sèche, on retient le *Klangbaach* au-dessus de l'entrée de la mine.

Pour éviter les masses d'eau dans le puits auxiliaire A, on creuse au-dessus de l'eau (-25 m) une galerie horizontale jusqu'à atteindre de la roche sèche. A cet endroit, on la creuse jusqu'à 43 m de profondeur, c'est-à-dire à même profondeur que la galerie de l'Our, puis en creusant horizontalement on retourne sous le puits auxiliaire A. Celui-ci devait alors être ouvert par en dessous. En avril 1912 l'unique pompe du puits P tombe en panne et l'eau monte avec une rapidité telle que tout est

1/août 12

Rapport
sur l'état actuel des travaux à la mine
de Stolzenbourg.

Mines.

N° 242.

N° 1

La société Bleichwider et C^{ie} a loué le moulin Trausch de Stolzenbourg pour avoir pour le moment une force motrice à sa disposition. On y a installé une turbine de 25-28 HP qui fonctionne depuis quelques jours. Cette turbine met en mouvement un compresseur de 25 HP. Du système Wotmann et ce dernier sert à comprimer l'air nécessaire au fonctionnement de perforatrices (Kand. Bohämmer) du même système. Un tuyau conduit du compresseur dans un réservoir qui se trouve à l'air libre. Ce réservoir a pour but de maintenir toujours l'air à une pression constante. Une nouvelle conduite (Voir croquis N° I) D de quelques centaines de mètres amène l'air jusqu'à l'entrée de la galerie G. Ici il y a une bifurcation. Un tuyau entre directement dans la galerie, une deuxième passe devant l'entrée et conduit l'air jusqu'au puits auxiliaire H.

La galerie commencée en G devra avoir une longueur de 1100 mètres et aura pour les 25 mètres l'exploitation en communication

Fig. 2.14: Rapport de l'Etat des travaux en 1912.

À la naissance du puits incliné on a installé un moteur à gaz pauvre qui fait fonctionner un deuxième compresseur de 25 HP. Le deuxième compresseur est en communication avec celui qui est actionné par la turbine. Aujourd'hui, ce n'est qu'un compresseur de réserve pour le cas où la turbine ne fonctionnerait plus. Plus tard il servira toujours, parce qu'il n'a l'inconvénient de travailler avec une perforatrice et que le premier compresseur ne pourrait en alimenter que cinq, chaque perforatrice exigeant 5 HP. En outre, une transmission permettrait de mettre ce moteur en communication avec le moyeu des réservoirs du puits incliné pour le cas où le barrage manque d'eau.

La ventilation du puits A (brogues 4 et 5) est satisfaisante mais fonctionne bien. Elle ne coûte que 150 fr environ. Elle consiste en une conduite en fer de quatre planches (100 mm l'épaisseur) brogues à contre. En

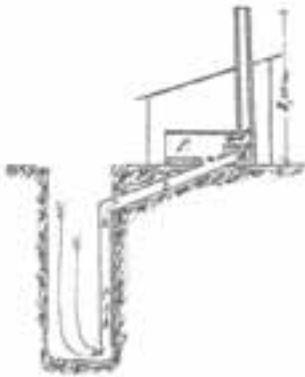


Fig. 2.15: Plan du système d'aération du puits A.

submergé. Les travaux dans le puits auxiliaire, dont le coût de 18.000 marks est déjà trop élevé, sont suspendus à une profondeur de 43-45 m.

Douze mineurs travaillent nuit et jour par tours de huit heures. La direction des travaux va à J. Luf avec deux surveillants, P. Pott, un charron de métier de Pütscheid et M. Bildgen, un bistrotier de Bivels. F. Bisdorff est méfiant à l'égard de ce dernier, comme il refuse de quitter son emploi d'aubergiste. Les deux ouvriers mentionnés seront quand-même embauchés, car ils travaillaient déjà dans la mine de 1902 à 1904.

Au début les mineurs recevaient 22 marks par mètre pour les premiers 40 mètres creusés par mois avec une prime de 4 marks pour chaque mètre supplémentaire pendant le même mois. En novembre 1912 on paie 24 marks. Plus tard, pour mener les travaux au succès nécessaire et pour motiver les mineurs, les salaires montent jusqu'à 33 marks. Dans un rapport même 130 marks par mètre sont mentionnés. Cela semble exagéré même à F. Bisdorff.

Parce que la banque rend d'autres crédits pour 1914 dépendants des résultats positifs de ces travaux de recherche, H. Luf déplace peu à peu ses travaux dans la mine pour mieux découvrir le gisement minéral.

Comme la galerie de l'Our est hors fonction, on utilise la vieille galerie du Klangbaach pour le drainage de la mine. L'eau est monté d'en bas au troisième niveau à l'aide de deux boguets à eau. D'ici elle s'écoule de manière naturelle par

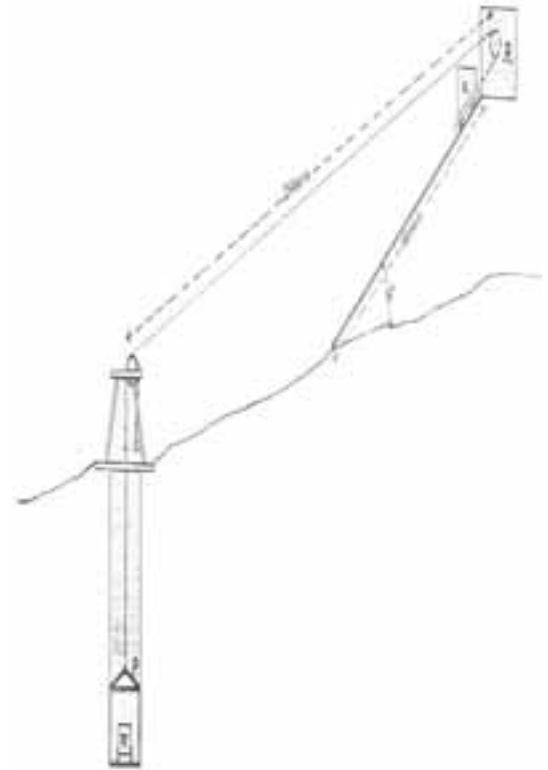


Fig. 2.16: Plan du système de remontée des déblais dans le puits A.

la galerie de drainage. Les deux réservoirs sont accrochés à un câble d'acier et sont tirés par un treuil de 30-35 CV de puissance. En septembre la mine est mise à sec. Avec l'agrandissement en 1913, des pompes supplémentaires sont installées en profondeur. Pour monter le minerai à la lumière du jour, la galerie du *Klangbaach* est remise en état et on y installe des rails pour pouvoir pousser les wagonnets à l'extérieur. A partir du milieu de 1913 le minerai est à nouveau monté par le puits principal.

Le directeur de mine commence par faire creuser au 9^e niveau. Celui-ci est ouvert d'abord sur 122 m vers le nord, puis prolongé sur 170 m. Le minerai perd en puissance mais reste de bonne qualité. En direction du sud les mineurs creusent d'abord 60 m et puis 125 m. Ici on trouve une veine de minerai riche mais discontinue d'une puissance de 1,5 m. Dans la partie nord on cherche à suivre la mine à l'aide de deux galeries auxiliaires. La première débouche sur une veine pauvre en minerai. La seconde reste encore stérile après 60 m.

Ensuite on fonce le puits VIII de 36 m et on ouvre le 11^e niveau par 30 m vers le nord et par 25 m par le sud. Un treuil supplémentaire est installé sur le 9^e niveau pour extraire le minerai du fond. En août 1914 la galerie 11 mesure 160 m. Elle sert aussi à creuser le puits principal par le fond. Ce qui permet de transporter le minerai d'un seul trait vers le haut. Ensuite le puits VIII est à nouveau abaissé, cette fois-ci de 34 m, au point de départ du 12^e niveau qui avance de 20 m vers le nord.

Pendant les travaux de recherche on creusait beaucoup, d'une part dans la galerie de l'Our, d'autre part dans la mine (plus que 500 m). Très peu d'indications sont disponibles sur la production. On extrait peu de minerai dont une part est stockée dans la mine. L'autre part est vendue. Il s'agit de 4 lots: 678 kg à 25,58 %, 1422 kg à 21,80 %, 1902 kg à 14,38 % et 2265 kg à 11,18 %. Le 10 octobre 1914, avec le début de la Grande Guerre, la banque S. Bleichroeder arrête les travaux et renonce à ses droits d'option. Avec la mine noyée à nouveau le rêve de richesses dissimulées dans le *Goldberg* s'envole.

Le 17 avril 1916 la totalité du matériel de mine ainsi que les terrains appartenant à la *Société des Mines de Stolzenbourg* sont vendus aux enchères. La société garde sans changement la concession de la mine. Aussi l'enquête que le Dr. M. Ungeheuer,

ingénieur et économiste national d'Ettelbrück, soumet le 26 avril 1916, ne modifie en rien ce fait, bien qu'il énonce de façon claire et lucide tous les arguments qui permettraient au gouvernement de révoquer la concession. Le 31 mai 1921 sont également mis aux enchères les terrains de P. Pütz et S. Bleichroeder.

Les intérêts des viticulteurs étaient de nature complètement différente. Comme en raison de la guerre les importations de cuivre n'arrivent que peu à peu, F. Mersch, président de la Commission Grand-Ducale de Viticulture, demande, le 24 juillet 1917, que l'Administration des Mines réclame un échantillon d'environ 20 kg de minerai de cuivre aux propriétaires de mines. Il veut les transformer en vitriol bleu pour ainsi combattre plus efficacement la peronospora dans les vignes. Il n'est toujours pas connu si la proposition a été admise.

2.20. Les derniers travaux miniers sous l'entreprise Neu et Stauder (1939-1944)

Le 5 février 1938 est une journée exceptionnelle dans l'histoire minière de Stolzenbourg. Le gouvernement annonce dans le *Mémorial* son intention de révoquer la concession qu'il avait cédée en 1856 à la *Société des Mines de Stolzenbourg*. Cette décision tranche enfin l'affaire de la concession dont le cahier des charges n'a jamais été respecté et change la position hésitante du gouvernement vis-à-vis de quelques financiers et industriels belges. La révocation est mise officiellement en œuvre le 22 février 1938 par décret grand-ducal. Peu après, la concession est cédée à une firme Neu & Stauder de Esch/Alzette.

Plusieurs rénovations sont sensées rentabiliser l'extraction sous les 'nouveaux concessionnaires'. Le raccordement de la mine au réseau électrique permet la mise en service de puissantes pompes électriques qui peuvent évacuer l'eau à une plus grande profondeur et rendent ainsi superflu le transport coûteux de charbon pour les chaudières. L'accès amélioré à la mine facilite le transport du minerai. L'ancien chemin en terre battue est transformé en piste pour poids lourds (fig. 2.17).

La modernisation du puits d'extraction principal permet de creuser à une profondeur de 190 m et rend possible une exploitation à l'aide d'installation solide de poutres de fer (fig. 2.18).

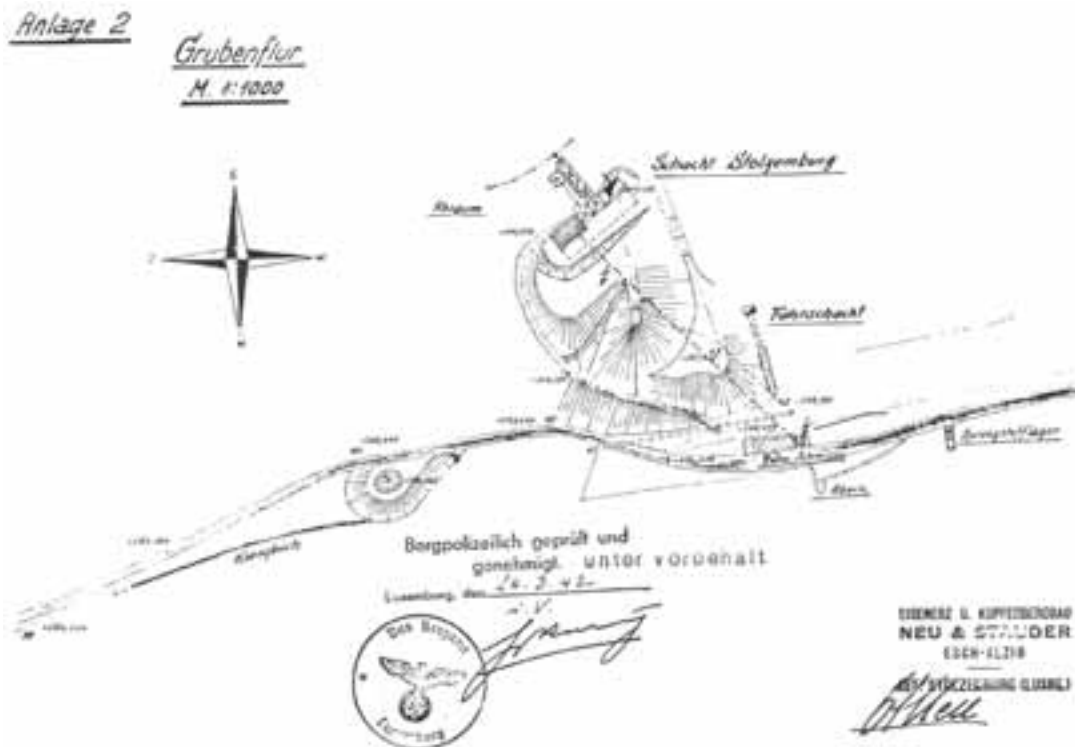


Fig. 2.17: Plan des aménagements du site minier par la firme Neu & Stauder, approuvés par l’administration allemande.

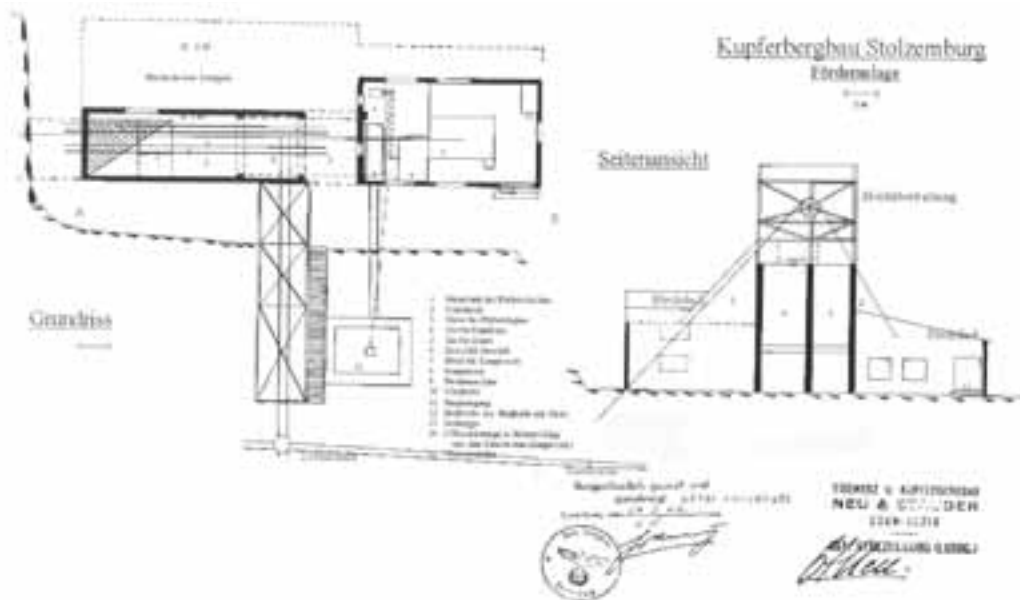


Fig. 2.18: Plan de la modernisation du puits d’extraction principal par la firme Neu & Stauder, approuvé par l’administration allemande.

Les travaux préparatoires commencés continuent sans interruption sous l'occupation allemande. En juillet 1940 le *Reichsamt für Bodenforschung* prévoit la construction d'installations de triage et de broyage ainsi que des canalisations en béton pour contenir l'eau du *Klangbaach*. L'ingénieur des mines d'Etat évalue que la mine de Stolzembourg contient un filon de minerai à dimension modeste, de minerai riche en faible quantité. Il estime qu'une équipe d'au plus 50 hommes ne peut extraire plus de 10 tonnes de minerai de cuivre par mois.

Pendant la deuxième guerre mondiale les galeries profondes ont été agrandies de la manière suivante (tab. 2.19):

L'extraction dans l'aile nord du 9^e niveau rapporte de riches minerais bruts en assez grande quantité. 100 tonnes sont triées et stockées sur le terrain de la mine, pour être traitées plus tard à Ems (D) et à Siegen (D). En aval tous les travaux de recherche indiquent une minéralisation continue sur la hauteur entière du puits. L'opérateur s'intéresse maintenant aussi aux minéralisations plus fines dans le filon de minerai carbonaté rouge du toit et des murs de la mine. Pendant les creusements précédents, on a collecté exclusivement les concentrations de minerai brut entre les salbandes. On peut en effet gagner facilement ces derniers par triage à la main parce qu'ils se démarquent clairement de la gangue stérile. 24 heures sur 24, 60 mineurs travaillent sous terre en trois tours.

En 1943 cette exploitation de grande envergure échouera aussi. Cette fois-ci ce ne sont pas les masses d'eau mais les chars qui mettent un terme à l'entreprise. Pendant l'offensive des Ardennes en hiver 1944/45 la totalité des installations d'extraction sont détruites. Dans les années cinquante les containers de minerai ont été enlevés pour être vendus comme ferraille.

2.21. L'après-guerre (1945-1999)

Avec la fin de la deuxième guerre mondiale l'Etat luxembourgeois reprend la concession. Quelques randonneurs amis de la nature et quelques collectionneurs de minéraux avertis fouillent le terril, personne ne met les pieds dans la «mine au trésor en or».

En 1968 la firme *La Continentale Nucléaire S.A.* de Bascharage fait une proposition intéressante au gouvernement. Puisque l'entreprise a développé un procédé chimique d'enrichissement de minerais à faible teneur en cuivre par voie humide, elle peut traiter de façon profitable du matériel avec 2% de teneur en cuivre, et donc, entre autres les déblais. Ainsi elle propose une étude détaillée concernant une exploitation rentable et une purification du minerai dans le pays. Un devis de 2,5 millions de francs est prévu pour cette étude. Le travail de P. Antun du 05.10.1968 sur la minéralisation est peut-être le résultat de cette enquête. Les arguments en faveur d'une extraction, sont les suivants:

- Israël commercialise déjà du minerai avec 1% de teneur en cuivre;
- le minerai de cuivre des déblais contient 8 gr d'or par tonne et 1 gr d'argent par 5 kg;
- les calcaires dolomitiques purs peuvent être traités à Rumelange et être utilisés dans la métallurgie.
- la perspective d'engager 50 à 100 personnes est une incitation économique sous la menace de licenciements dans l'industrie du fer.

Comme une demande de concession faisait défaut on ne sait pas si le gouvernement acceptait cette proposition ?

Submergée jusqu'au 3^e niveau, la mine de cuivre de Stolzembourg tombait dans l'oubli pendant

Tableau 2.19: Travaux dans les galeries profondes pendant la seconde guerre.

Niveau de la mine	Profondeur du puit principal	travaux vers le nord	travaux vers le sud
9	106 m	200 m	150 m
10	140 m	130 m	100 m
11	150 m	50 m	140 m
12	190 m	---	---

plus de 50 ans. Le sentier didactique géologique créé en 1998 en coopération avec la commune de Pütscheid, le musée national d'histoire naturelle, le groupe Leader II Clervaux-Vianden, offre aujourd'hui la possibilité de découvrir à nouveau les environs de l'ancienne mine de cuivre. La galerie 3 a été rendue accessible pour des visites guidées sur initiative du syndicat local et avec la coopération du service des sites et monuments nationaux pour valoriser cet héritage et conserver les traces de ce patrimoine industriel.

3. Cadre géographique, géologique et structural

3.1. Localisation géographique

Les travaux présentés dans cette publication font référence à la minéralisation en cuivre de Stolzenbourg. Cette minéralisation s'est mise en place dans les terrains dévoniens de l'Éisléck, le long de la vallée de l'Our, à quelques kilomètres de la frontière allemande.

Le cadre géographique définissant la minéralisation a été dans un premier temps estimé sur base des anciens travaux miniers qui ont été relatés dans le chapitre précédent. La zone d'étude s'étend du sud au nord de Vianden à Hosingen et s'inscrit dans un rectangle de 10 x 7 km.

Cette région est principalement centrée sur Stolzenbourg. Ce petit village de quelque 180 habitants, de l'entité de Pütscheid, est situé sur la rive droite de l'Our, à la frontière entre le Grand-Duché de Luxembourg et l'Allemagne, à 6 kilomètres au Nord de Vianden (fig.3.1.)

Les différentes méthodes d'investigations utilisées pour comprendre le système de mise en place de la minéralisation ont des aires de répartition différentes. Celles-ci sont présentées par des contours couleur à la figure 3.1.: en jaune, le tracé de la zone couverte par le levé géologique; en bleu, la zone des prospections géophysiques de type magnétique et radiométrique et en vert la zone dans laquelle le levé gravimétrique a été réalisé.

Comme la description de la mise en place d'une minéralisation ne peut se faire sans une connais-

sance préalable de la géologie qui lui sert d'encaissant, nous allons nous attarder dans les pages suivantes à décrire la géologie de l'Éisléck en nous concentrant sur les environs de Stolzenbourg.

3.2. Le contexte géologique et structural

3.2.1. La géologie du Grand-Duché de Luxembourg

Le Grand-Duché de Luxembourg se divise en deux régions naturelles distinctes. La partie nord (Éisléck), fait partie du massif hercynien de l'Ardenne tandis que la partie sud (Gutland) est caractérisée par la couverture mésozoïque de ce massif correspondant à la limite NE du Bassin de Paris (fig.3.2).

3.2.2. L'Éisléck, socle hercynien

La géomorphologie de la région septentrionale du Grand-Duché de Luxembourg (Éisléck) est caractérisée par un plateau subhorizontal dont l'altitude moyenne se situe vers 500 mètres. De nombreux cours d'eau coulant du Nord vers le Sud ou d'Ouest en Est ont profondément entaillé le plateau. D'étroites vallées encaissées, dont les dénivellations par rapport aux altitudes des plateaux peuvent atteindre plusieurs centaines de mètres, ont pu se développer.

Le massif montagneux hercynien est constitué de quatre régions d'âge éodévien: les Ardennes françaises, l'Ardenne belge, l'Éisléck et l'Eifel.

Le massif éodévien repose sur des terrains d'âge calédonien qui n'affleurent pas au Luxembourg. La géométrie entre ces deux massifs est une discordance (Klein, 1980). Les massifs calédoniens les plus proches sont ceux de Givonne et de Rocroi en Belgique.

3.2.2.1. L'Eodévien

L'Eodévien des Ardennes, par l'importance de ses faciès schisteux et gréseux, correspond à une sédimentation détritique en milieu marin peu profond post-orogénique.

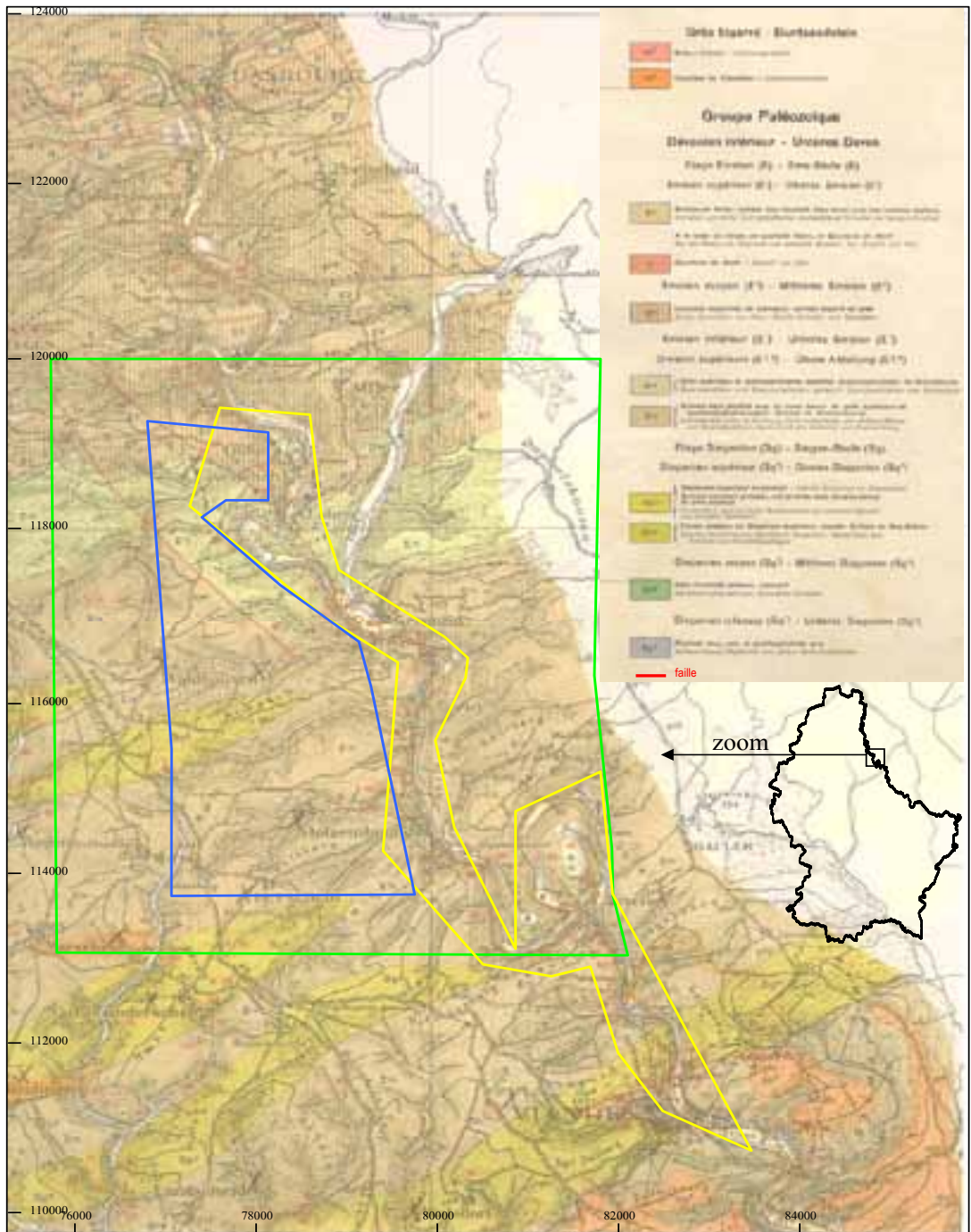


Fig. 3.1: Carte de localisation des différentes zones d'étude (en jaune: zone couverte par le levé géologique, en bleu: zone des levés magnétique et radiométrique, en vert: zone dans laquelle le levé gravimétrique a été réalisé (coordonnées X-Y Gauss-Luxembourg en mètres, échelle 1cm ->666m, carte modifiée d'après Lucius, 1949).

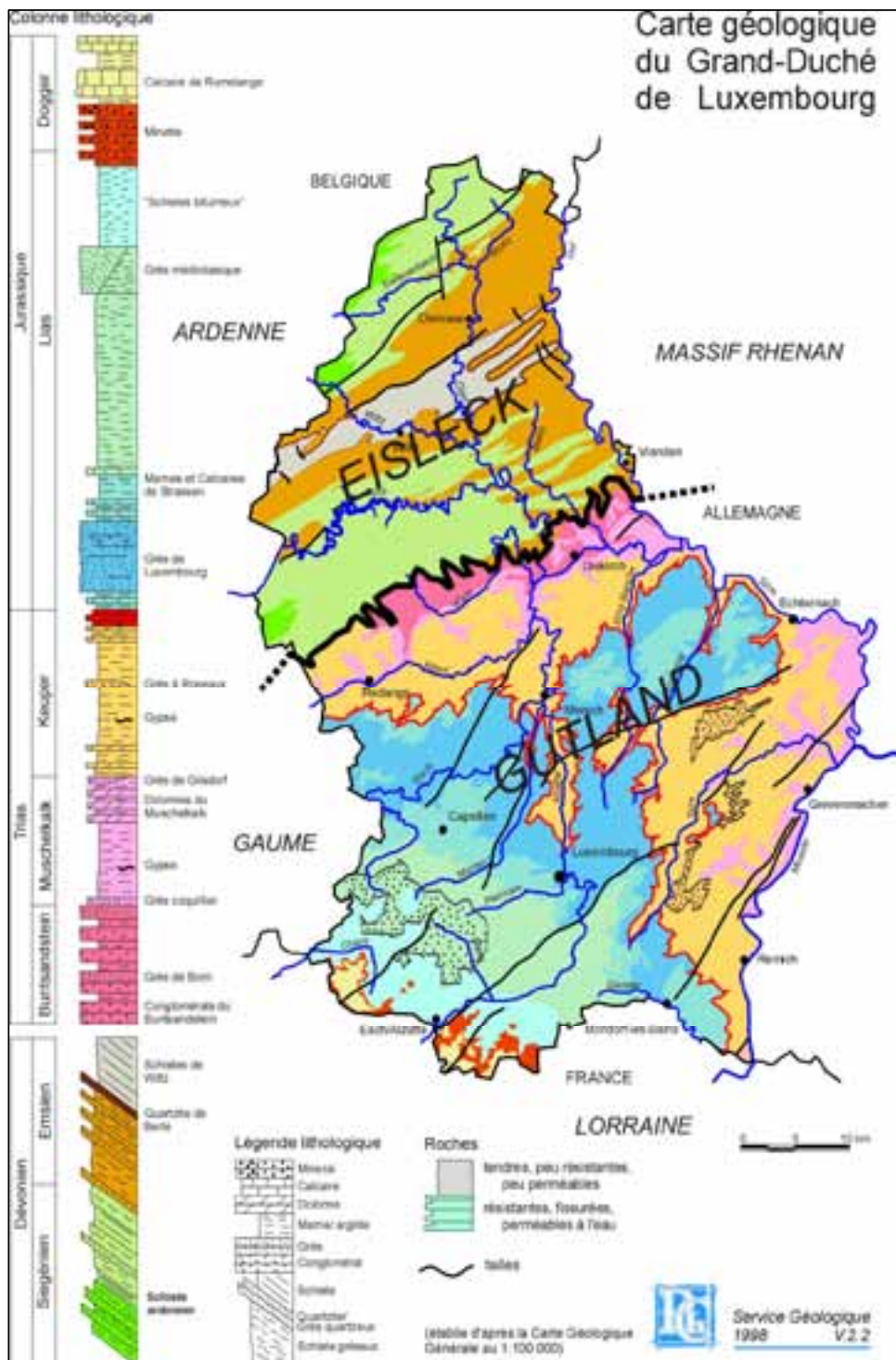


Fig. 3.2: Carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg au 1: 100 000 (Service Géologique de Luxembourg, 1998).

Les premiers stratigraphes (Gosselet, 1888; Asselberghs, 1912, 1941, 1946) ayant étudié l'Eodévonien de l'Éisléck l'ont situé dans l'échelle lithostratigraphique ardennaise.

Dans la publication de 1950, M. Lucius a donné au dévonien «luxembourgeois» une échelle stratigraphique spécifique qui n'a guère été modifiée depuis (Furtak, 1965; Konrad et Wachsmut, 1973; Mittmeyer, 1974; Müller, 1980).

La révision des unités lithostratigraphiques dévoniennes de Belgique dans le Synclinorium de Neufchâteau et dans l'Anticlinorium de l'Ardenne est, aujourd'hui, en cours de réalisation (Bultynck et Dejonghe, 2001). Toutefois, P. Bultynck *et al.* (2000) a publié un résumé des premiers résultats obtenus. Les termes Gedinien-Siegenien ont été remplacés par les termes Lochkovien-Praguien.

A. Le Siegenien

Les terrains les plus anciens de l'Éisléck appartiennent au Siegenien inférieur (Sg1 sur la figure 3.3). Celui-ci est caractérisé par des phyllades bleu-noir et quartzophyllades gris qui affleurent sporadiquement dans la vallée de la Wiltz (région de Schimpach) (Lucius, 1950).

Le Siegenien moyen (Sg2) occupe une superficie un peu plus grande, aux environs de Martelange et au Nord Ouest de l'Éisléck. Cet étage comprend des schistes arénacés, des quartzophyllades gréseux et de puissants bancs de grès quartzitiques (Lucius, 1950).

Le Siegenien supérieur (Sg3) occupe une importante étendue. Au Sud du Synclinal de Wiltz, prédominent les schistes du Siegenien supérieur entrecoupés par d'étroits synclinaux d'Emsien. Un faciès local ardoisier présent à la base du Siegenien supérieur a été intensément exploité dans la région de Martelange. Ce sous-étage est d'une manière générale caractérisé par des schistes foncés, légèrement gréseux, clivés en feuillets épais. Le plan de stratification est difficilement observable (Lucius, 1950, 1951).

B. L'Emsien

E. Asselberghs (1912, 1941) a divisé cet étage en trois parties suivant des critères lithologiques et paléontologiques: l'Emsien inférieur, moyen et supérieur. Cette échelle stratigraphique n'a pas été sérieusement remise en question depuis la publication de M. Lucius (1950).

B.1. L'Emsien inférieur

Le contraste entre l'Emsien et le Siegenien supérieur est facilement visible. En effet, le plan de stratification est difficilement observable dans les schistes du Siegenien supérieur; tandis que, dans les schistes de l'Emsien, celui-ci est identifiable au même titre que le plan de schistosité. Ce critère, souligné par M. Lucius (1951), permet de distinguer ces deux étages.

Ce sont les levés détaillés de M. Lucius (1950) qui ont mis en évidence les deux formations lithologiquement et stratigraphiquement distinctes dans l'Emsien inférieur (fig.3.3):

- les Schistes de Stolzembourg (E1a)
- les Quartzophyllades de Schuttbourg (E1b)

Les Schistes de Stolzembourg affleurent principalement le long d'étroites bandes synclinales au milieu des larges affleurements des schistes siegeniens sur les plateaux du Sud de l'Éisléck. La vallée de l'Our, entre Vianden et Gemünd, permet d'observer de nombreux affleurements. Ce sont des schistes et phyllades de couleur foncée où les intercalations de grès sont rares. Les bancs de grès dont l'épaisseur peut varier de 15 à 50 centimètres se distinguent sans difficulté du clivage schisteux. Cette formation se caractérise par une couleur plus rougeâtre (Bornain, 1999). Différentes figures de charge, de courant, des plis sédimentaires et la présence de pseudo-nodules peuvent y être observés (Lucius, 1950; Bintz et al., 1973). Celles-ci sont dues aux changements rapides entre les régimes sédimentaires sableux et argileux (Müller, 1980; Collinson et Thompson, 1982).

Les Quartzophyllades de Schuttbourg (E1b) affleurent au Nord de la formation précédente et surtout de part et d'autre du Synclinal de Wiltz. Ce faciès se distingue par la présence de veines carbonneuses et également par des intercalations de grès quartzitiques. Ces dernières furent encore exploitées jusque récemment pour leur dureté.

B.2. L'Emsien moyen

Cet étage comporte un faciès bien connu dans toute l'Ardenne: les Schistes bigarrés de Clervaux (E2) (fig.3.3). Ceux-ci affleurent dans le Synclinal de Wiltz, plus précisément à l'Est entre la Clief et l'Our. Ils sont bien visibles dans la vallée de l'Our, entre les villages d'Eisenbach et Dasburg.

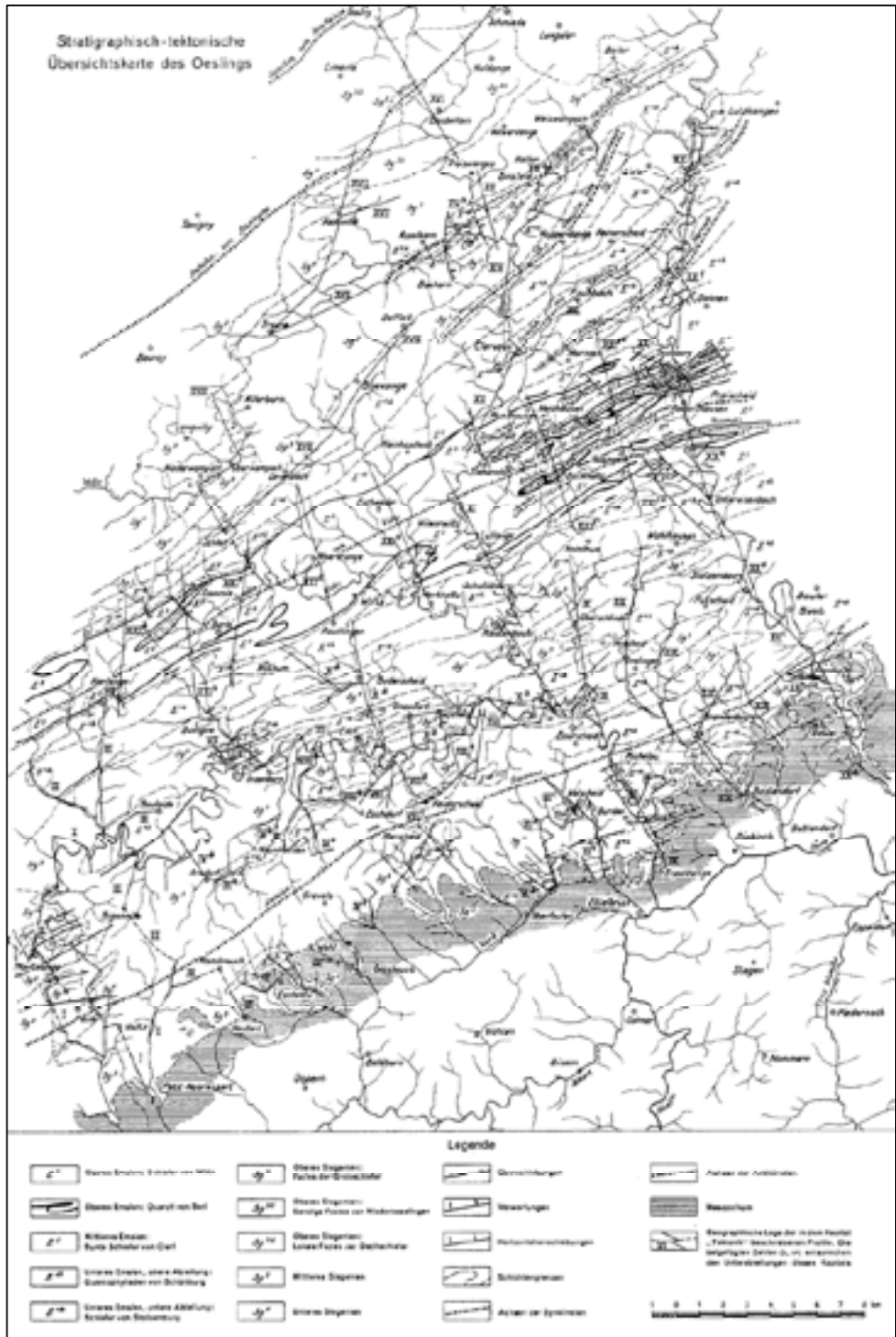


Fig. 3.3: Esquisse stratigraphique et tectonique de l'Éisäck (Lucius,

B.3. L'Emsien supérieur

Il est admis, aujourd'hui, que l'Emsien supérieur est composé par deux formations distinctes (Bultynck *et al.*, 2000) (fig.3.3) :

- le Quartzite de Berlé (trait en gras sur la figure 3.3)
- les Schistes de Wiltz (E3)

Les Schistes bigarrés de Clervaux sont généralement surmontés par un mince quartzite très dur, de couleur claire. Ce quartzite porte le nom de Quartzite de Berlé, de Quartzite de Traimont (en Belgique) ou de Koblenzquartzit (en Allemagne). Ce sont des lentilles et des bancs d'une puissance variant de 5 à 10 mètres d'un quartzite blanc laiteux à gris-bleu possédant en certains endroits des mouchetures rouges (Gosselet, 1885, 1888; Asselberghs, 1946; Lucius, 1950).

Les Schistes de Wiltz (E3) sont des pélites de couleur sombre contenant des nodules.

3.2.2.2. La tectonique hercynienne

A. Les plis

Il existe, dans cette région, deux échelles de plis: les plis majeurs de l'ordre du kilomètre et les plis mineurs de l'ordre du mètre.

A.1. Les plis majeurs présents dans l'Éisléck

Trois des structures majeures de la chaîne ardennaise sont retrouvées dans l'Éisléck: l'Anticlinorium de Bastogne, le Synclinorium de l'Eifel et l'Anticlinorium de Givonne.

La région d'étude s'encadre dans l'anticlinorium de Givonne. Celui-ci tire son nom du massif calédonien de Givonne dont il est le prolongement vers l'Est. Dans la région de Martelange, ce pli montre en son cœur le Siegenien moyen-supérieur (Sg 2-3). Par contre, dans l'Eifel, il disparaît sous la couverture mésozoïque. La localisation de son axe n'est pas évidente. Robert (1912), Fourmarier (1931) et Konrad et Washmut (1973) le font passer au Sud de l'Éisléck à la limite de la couverture mésozoïque. Lucius (1951), pour sa part, le place plus au Nord et le fait passer par la ville de Vianden, par le château de Bourscheid et par le plateau d'Eschdorf (fig.3.3). Le flanc Sud de l'Anticlinorium disparaît sous la couverture triasique tandis que le flanc Nord est constitué par un dressant dont l'épaisseur atteint 5000 mètres dans la vallée de l'Our (Müller, 1980; Konrad et Wachmut, 1973).

Des plis de dimension plus petite sont observables sur la figure 3.3 où affleurent dans le Sud de l'Éisléck, les schistes et quartzophyllades siegeniens. A l'Est, les plis sont généralement déversés vers le Sud, exceptés quelques plis droits dans la vallée de la Sûre et aux environs de Vianden dans la vallée de l'Our (anticlinaux de Vianden et de Bivels). A l'Ouest, le déversement vers le Nord est le plus fréquent. Lucius (1955) avait souligné cette caractéristique et l'avait attribuée au rôle, en profondeur, de massifs et blocs calédoniens sur lesquels les plis hercyniens se seraient moulés.

A.2. Les plis mineurs

L'intensité du plissement hercynien s'exprime également à l'échelle du mètre et plus particulièrement dans les schistes. Généralement ces plis ne sont pas cartographiés. Il faut cependant noter qu'ils sont très fréquents sur le territoire luxembourgeois.

B. La schistosité

Les roches d'origine pélitique telles que les schistes, les ardoises et les phyllades prédominent très nettement sur le faciès gréseux. Ces roches sont marquées principalement par une schistosité mécanique qui témoigne de l'importance des contraintes subies lors de l'orogénèse hercynienne.

Dans les couches plus gréseuses, la schistosité est beaucoup plus discrète et possède un pendage plus faible que celui mesuré dans les roches pélitiques suite au phénomène de réfraction.

Selon Mosar (1992) la schistosité, dans les roches pélitiques, est marquée par des minéraux phylliteux qui sont amenés à être parallèles au plan de schistosité par des processus mécaniques et des transferts de matière en solution. Pour les roches à dominance gréseuse, ce sont les mécanismes de déformation intracristalline qui jouent.

Le plan de schistosité coïncide généralement avec le plan axial des plis, orienté ENE-OSO avec un pendage incliné généralement vers le SSE (Van Wijnen, 1953). Cependant quelques exceptions concernant l'orientation et le pendage peuvent être observées localement. Elles peuvent correspondre à une réfraction de clivage ou être associées à un clivage de charriage en retour, par exemple le long du charriage de Troisvierges-Malsbenden (Furtak, 1965; Fourmarier, 1956; Fourmarier *et al.*, 1968).

3.2.3. Le champ de contraintes dans l'Éisléck

Mosar (1992) a étudié le champ de contraintes dans l'Éisléck en effectuant des regroupements de population de failles affectant le socle dévonien dans douze localités (fig.3.4).

La mesure des systèmes de fractures (diaclasses) a été également effectuée par un certain nombre d'auteurs (Van Wijnen, 1953; Lucius, 1955; Bintz, 1964; Zobel, 1969; Wemer, 1976; Mosar, 1992; Bornain, 1999). Un premier ensemble possède une orientation N150-170, un second N50-70 et est principalement composé par des fractures remplies par des cristaux de quartz (fig.3.5).

Grâce à sa synthèse sur le champ de contraintes, Mosar (1992) décrit un régime tectonique de décrochement ayant une direction de compression

NO-SE et de tension NE-SO, associé à des failles dont l'orientation varie de NO-SE à NNO-SSE qui postdatent le développement du plissement et du clivage et qui peuvent être associées à la direction dominante N150-170 des systèmes de fractures.

A une échelle locale, la nature tectonique des failles de direction N150-170 peut être définie, selon certains auteurs (Lucius, 1950; Bornain, 1999) comme normale ou comme inverse. Ces caractéristiques semblent aujourd'hui être remises en question.

Les fractures remplies par des cristaux de quartz et orientées N50-70 indiquent, quant à elles, un événement extensif prédatant le plissement principal (Bintz, 1964; Berg, 1965; Antun, 1968; Wemer, 1976). Ces fractures ont pu rejouer après le plissement suite à une tectonique distensive et surtout après l'apparition des failles NO-SE,

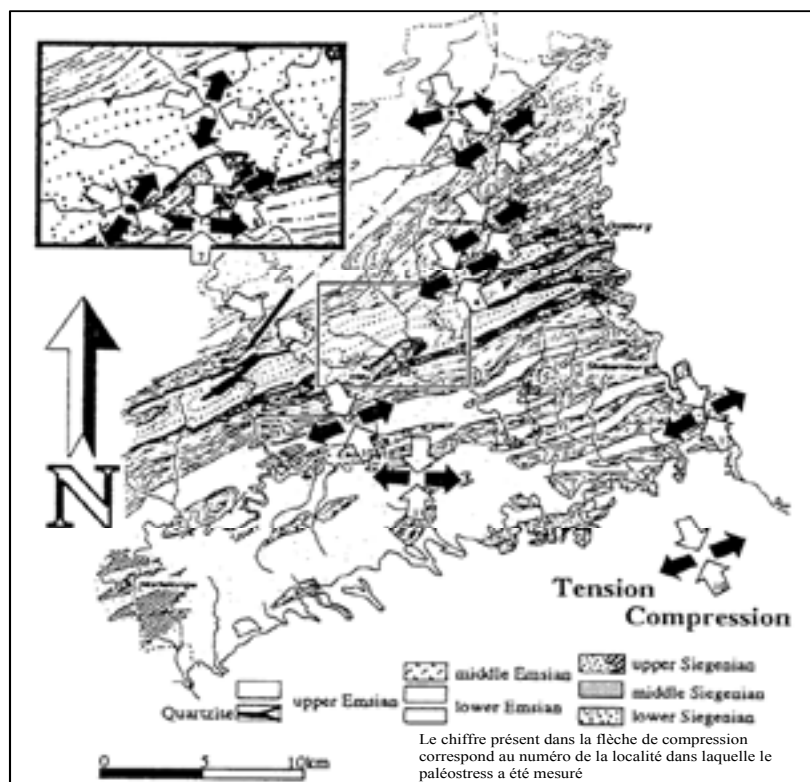


Fig. 3.4: Carte géologique de l'Éisléck sur laquelle sont représentées les différentes orientations du paléostress. Le chiffre présent dans chaque flèche de compression représente le numéro de la localité où la mesure du paléostress a été réalisée (Mosar 1992).

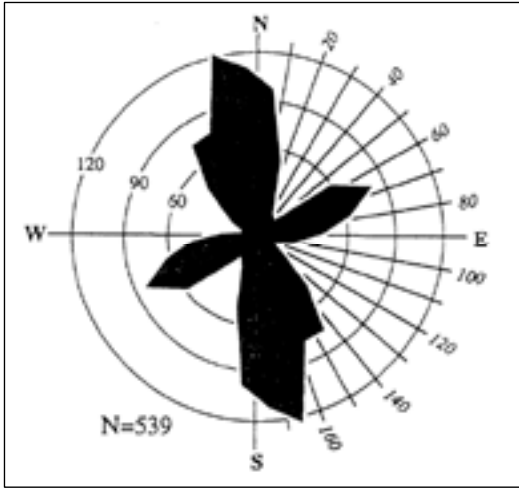


Fig. 3.5: Direction des fractures mesurées lors de la construction de la centrale hydro électrique de l'Our (SEO) (Bintz, 1964).

NNO-SSE (Bornain, 1999) pouvant développer un rejet plus ou moins important.

3.2.4. Données géologiques relatives à la région de Stolzembourg

3.2.4.1. Les plis et la schistosité

Les données structurales, publiées et non-publiées (c'est-à-dire les mesures des plans de stratification, de schistosité, des plans axiaux des plis) récoltées par plusieurs auteurs (Van Wijnen, 1953; Lucius, 1955; Bintz, 1964; Zobel, 1969; Staudt, 1976; Wemer, 1976; Scheurs, 1981; Nix, 1985; Mosar, 1992; Bornain, 1999) ont été compilées et comparées à celles mesurées lors du levé de terrain afin d'établir une cartographie structurale détaillée de la région.

La région d'étude a été divisée en quatre domaines structuraux distincts afin de fournir une meilleure localisation et description des différents plis observés. L'établissement de ces domaines repose sur l'échelle de grandeur de ces différents plis (fig.3.6).

Entre Vianden et Bivels, le long de la vallée de l'Our, sept plis ont pu être observés. Leur dimension est hectométrique. Ils sont droits et fermés (angle des tangentes aux points d'inflexion variant de 30° à 70°, Mercier et Vergely, 1992) avec leur plan axial parallèle au plan de schistosité. Le pendage orienté

moyen du plan de schistosité est de 75°\160°. L'axe du plissement régional est subhorizontal et orienté vers N60E. Il correspond à ce qui a été observé par les précédents auteurs. L'ennoyage de ces différents plis varie: pour certains, il est de 5° vers N65E et pour d'autres 7° vers N100O.

Associés à ces plis hectométriques, trois plis décamétriques sont également visibles en certains endroits.

Au niveau de la SEO (Société Electrique de l'Our), deux petits plis ont pu être relevés. Il s'agit successivement d'un synclinal et d'un anticlinal. Leur dimension est pluri-métrique. Ils sont droits, fermés et leur plan axial est subvertical et parallèle au plan de schistosité. Leur ennoyage est de 5° vers l'Ouest. Il n'a pas été possible de mesurer des plans de schistosité à cause de la mauvaise qualité des affleurements.

Entre Bivels et Gemünd, la présence éventuelle de plis est difficile à mettre en évidence. Il y a cependant en quelques endroits de légères ondulations du plan de stratification mais rien ne permet de décrire des plis (exemple: à l'entrée de Stolzembourg et dans ce même village, derrière le musée «Koffergrouf»). Dans ce domaine, il a été possible de mesurer plusieurs plans de schistosité dont le pendage orienté moyen est de 60°\170°.

Entre Gemünd et Untereisenbach, cinq plis hectométriques ont pu être cartographiés. Ils sont droits, fermés. Il peut être supposé que le plan axial est parallèle au plan de schistosité car ce dernier est plus difficile à mesurer mais possède toujours un pendage orienté moyen de 65°\160°. L'ennoyage de ces plis varie toujours vers le Sud Ouest ou vers le Nord Est avec un angle compris entre 5° et 10°. A cause de la mauvaise qualité des affleurements entre ces deux villages (couverture végétale, travaux d'entretien, mur pour sécuriser les affaissements de terrain), il a été difficile d'observer des plis métriques.

3.2.4.2. Les failles

A partir des observations faites sur le terrain, deux failles importantes, localisées respectivement au Nord de Vianden (FI) et au Nord de Gemünd (FII) (fig.3.6), ont pu être repérées. Elles sont orientées ENE-OSO et possèdent un pendage vers le Nord.

Les indices relevés sont la présence de fracturations, remplies en certains endroits par des cristaux

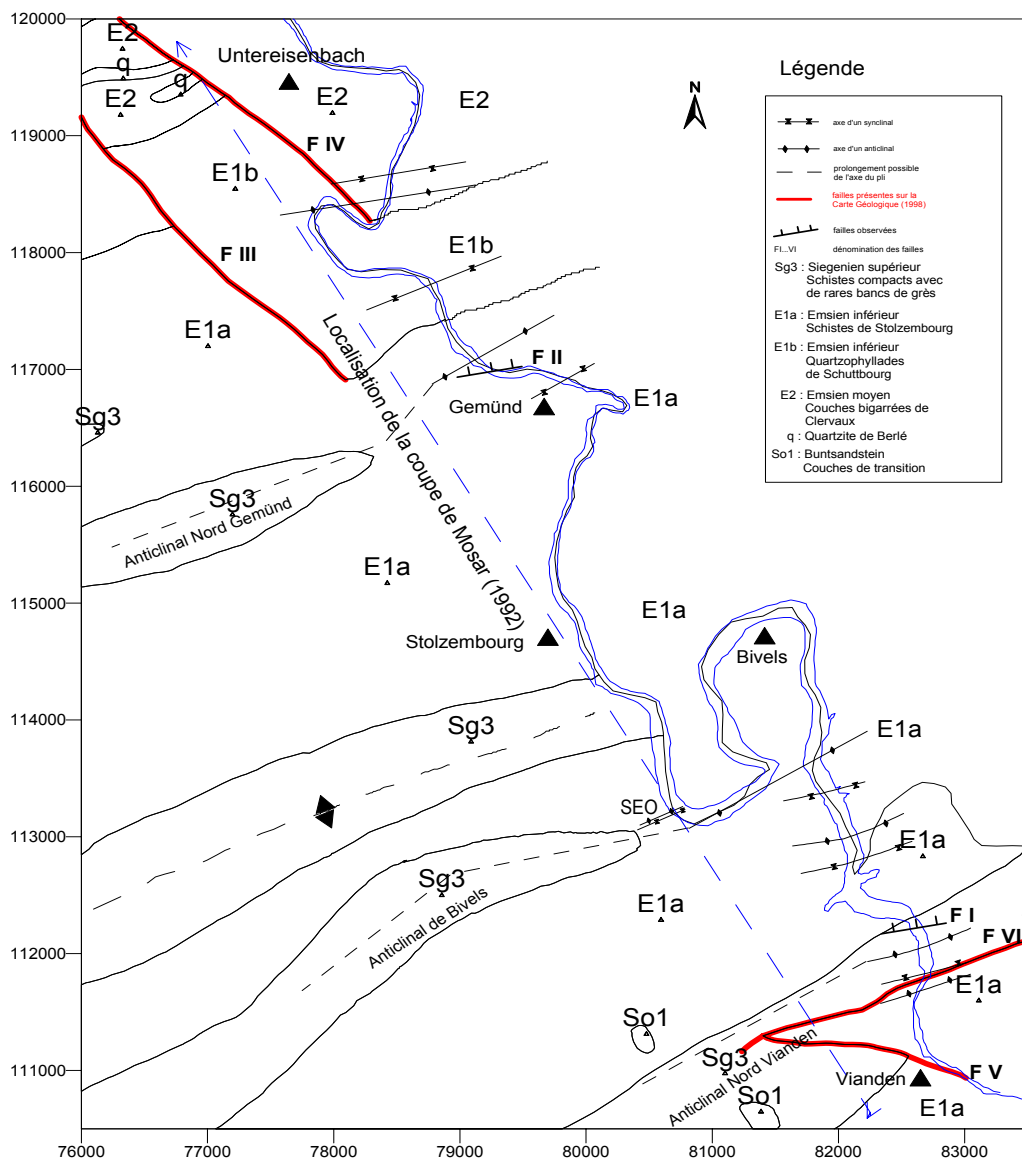


Fig. 3.6: Carte de synthèse: superposition de la carte géologique (1998) et des axes de plis (coordonnées X-Y Gauss-Luxembourg en mètres, échelle: 1cm->450 m).

de quartz, décalant de quelques centimètres les plans de stratification et la présence d'une roche plus rougeâtre par rapport à l'assise rocheuse des alentours (fig.3.7) comme c'est le cas au niveau des filons minéralisés en cuivre présents dans la mine de Stolzenbourg (Bornain, 1999).

Pour la faille localisée au Nord de Vianden (FI), il y a une différence entre les pendages de la stratification de part et d'autre de celle-ci; au Sud le pendage est de 32° et au Nord de 43° . Cette observation ne se remarque pas pour la faille FII située au Nord de Gemünd.



Fig. 3.7: Indices de la présence d'une faille (FI sur la fig. 3.6): **a)** roche rougeâtre comme au niveau des filons minéralisés. **b)** présence de micro-fissures (zoom). Dimensions du carnet rouge: 16 cm x 10 cm. (Le long de la N10, aux coordonnées Gauss-Luxembourg 82600-112460).

Une troisième faille (FVII) a été cartographiée (fig.3.6 et 3.8). Son importance est moindre que celle des deux failles préalablement décrites. Son pendage orienté est de $64^{\circ}\backslash 140^{\circ}$ et son rejet est de 25 centimètres. C'est probablement une faille normale vu le schéma de son glissement réel (Mercier et Vergely, 1992).

3.2.4.3. Les structures sédimentaires

Plusieurs structures sédimentaires ont pu être observées. Les pseudo-nodules (masses rondes ou allongées constituées de matériaux gréseux présentes au sein d'un matériau plus schisteux) (Macar et Antun, 1950; Van Wijnen, 1953), les ripplemarks (rides formant un relief en crêtes et creux causées par l'agitation de la houle ou par l'action de courants marins sur la surface supérieure d'une couche finement détritique), les

figures de charge (creux comblés par du matériel gréseux dans un banc de schistes) et les figures de courant (rides causées par le courant) définissent le milieu de formation de la lithologie qui nous intéresse, à savoir un milieu marin peu profond.

3.2.4.4. Synthèse des données géologiques

La synthèse de toutes les informations relatives aux plis, aux failles supposées sur le terrain et à la carte géologique (Service Géologique de Luxembourg, 1998) se fait à la figure 3.6. Celle-ci superpose les données décrites ci-dessus à celles de la carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg.

Nous observons une bonne corrélation entre les plans de stratification mesurés sur le terrain, définissant les différents flancs des plis et la carte géologique existante (1998).



Fig. 3.8: Faille normale (FVII) ayant un rejet de 25 cm. Dimension du porte-mines: 14 cm. (Le long de la N10, aux coordonnées Gauss-Luxembourg 82260-112481).

En relation avec des données antérieures, publiées ou non par les auteurs, différents axes de plis observés lors du levé de terrain ont pu être prolongés en concordance avec la géologie de la région.

C'est le cas pour l'anticlinal situé au Nord de Vianden, l'anticlinal situé au Sud de Bivels et l'anticlinal situé au Nord de Gemünd. Pour les autres axes de plis, il est difficile de les prolonger car ils sont probablement de plus petite amplitude.

Les failles présentes sur la carte géologique (en rouge sur la figure 3.6) ne sont pas facilement visibles à l'affleurement. La faille FV étant hors de la région d'étude, l'intérêt s'est porté sur FVI (fig.3.6). La recherche d'indices tectoniques n'ayant pas été évidente, l'observation sur le terrain de la disposition des éperons rocheux a permis de présumer l'existence de cette faille. En effet, tout le long de l'Our, en allant vers Stolzembourg, les affleurements sont présents en grande quantité. Toutefois, un peu plus au Sud du barrage avant l'entrée dans Vianden, il y a une brutale interruption du massif rocheux qui ne réapparaît qu'au niveau du cimetière de Vianden. Il y a donc un décalage de l'ordre de 400 mètres.

La position de la faille FI (fig.3.6) à proximité de la limite lithostratigraphique Sg3-E1a n'est proba-

blement pas une coïncidence. La différence de position entre ces deux structures est due à la précision de chacune des cartes superposées. La limite entre ces deux formations serait donc une limite par faille d'orientation ENE-OSO à pendage Nord.

La présence de la faille FII est supposée sur base des indices cités au paragraphe 3.4.3.

La faille FIII présente sur la carte géologique, n'apparaît pas à l'affleurement. Aucune confirmation ou infirmation quant à la véracité de celle-ci n'est possible.

Pour la faille FIV quelques indices laissent apparaître la possibilité de son existence. Ils ne sont observables qu'en un seul endroit tout près du cimetière d'Untereisenbach. Ces indices sont la présence de plusieurs réseaux de fractures, remplies en certains endroits par des cristaux de quartz, décalant de quelques centimètres le plan de stratification.

Mosar (1992) a développé une technique propre (technique du plissement parallèle) pour la mise en évidence de la succession en profondeur des plis et de la présence de failles non visibles à l'affleurement (Suppe et Mettwedeff, 1991).

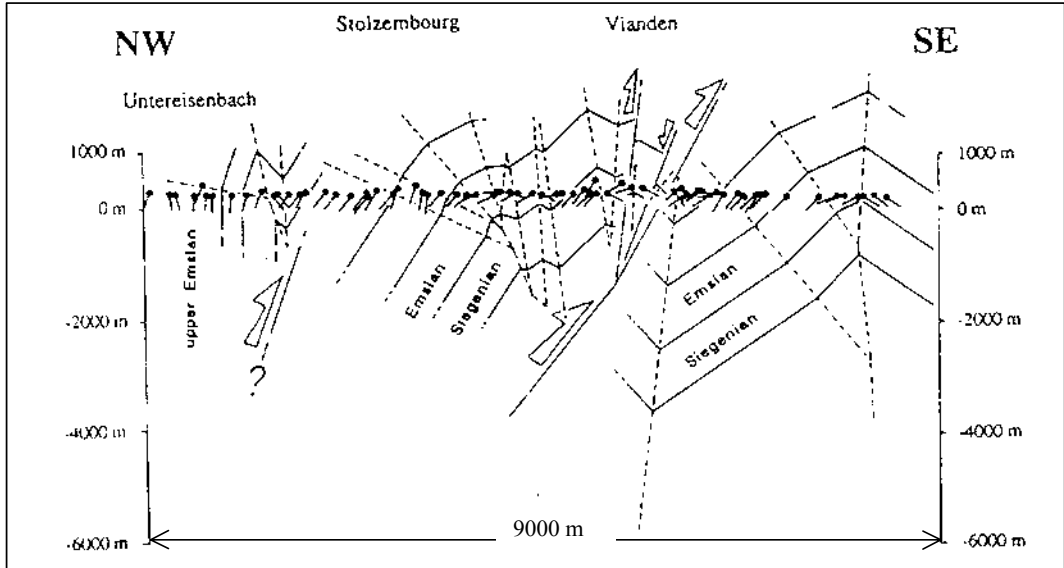


Fig. 3.9: Coupe géologique à travers la région d'étude (trait en pointillés bleus sur la fig. 3.6). Les lignes en pointillés indiquent les traces des plans axiaux des plis, les «épingles» noires représentent les plans de stratification, les flèches blanches correspondent au mouvement des failles. La profondeur à laquelle les limites des différentes formations géologiques se retrouvent est indiquée par les échelles verticales, (modifiée d'après Mosar, 1992).

La coupe réalisée, entre Vianden et Untereisenbach, montre les grands traits structuraux de l'Anticlinorium de Givonne et reflète la compilation des données structurales des auteurs précédents (fig.3.9) (Lucius, 1950; Van Wijnen, 1953; Furtak, 1965; Zobel, 1969; Konrad et Wachmut, 1973; Staudt, 1976; Wemer, 1976; Maquil et Lohrertz, 1984; Nix, 1985; Vandenvan, 1991).

La partie septentrionale de la figure 3.9 est caractérisée par un anticlinal suivi d'un synclinal de grande échelle. Entre ces deux structures apparaissent à l'affleurement les roches de l'Emsien.

Le synclinal est affecté au Nord de Vianden, par une large faille de charriage à pendage Nord formant une série de plis à plans axiaux subverticaux dans l'anticlinal adjacent. Cette faille sépare les deux structures ayant des cœurs formés respectivement par des roches emsiennes et siegeniennes.

Le déplacement le long de celle-ci peut être estimé à deux kilomètres au minimum.

Plus au Nord, une zone à pendage plus modéré prédomine. Au niveau d'Untereisenbach, une autre faille de charriage a pu être mise en évidence et est en relation avec un charriage en surface de

la même façon que cela a été montré dans le flanc méridional du massif de Wiltz (Mosar, 1992). Elle peut correspondre à la faille FII de la figure 3.6.

Ces failles sont des failles de charriage en retour (backthrust) qui ont un rôle plus important qu'estimé antérieurement dans le développement des failles et plis dans cette région du Massif Rhénan.

La différence entre les pendages des plans axiaux des plis situés au niveau de Vianden-Untereisenbach et des pendages des plans axiaux des plis au niveau de Stolzenbourg résulte probablement de la présence des deux failles de charriage en retour.

D'après Mosar (1992), les plis à plan axial proche de la verticalité (Vianden-Untereisenbach) sont étroitement liés à ce type de failles: il s'agirait en quelque sorte de plis dus à la propagation de celles-ci. Une certaine «flexure» des plans axiaux apparaît suite à ces plis subverticaux et est de plus en plus marquée au fur et à mesure que la distance par rapport à ces failles augmente.

Cette coupe géologique est représentative de la réalité observée sur le terrain. En effet, les plans

de stratification mesurés possèdent les mêmes orientations ainsi que les mêmes pendages que ceux représentés sur cette figure, c'est-à-dire un pendage orienté moyen de $40^{\circ} \setminus 350^{\circ}$.

Les plans de schistosité mesurés lors du levé sont en concordance avec ceux qui représentent les plans axiaux des plis.

La succession des plis anticlinaux-synclinaux correspond à la succession des plis observés sur le terrain (fig.3.6).

Les failles présentes sur la coupe (fig.3.9) et celles étudiées sur le terrain sont également corrélées entre elles.

4. Inventaire des occurrences régionales

Au cours de siècles d'exploitation de la mine de Stolzenbourg, les anciens ont prospecté la région pour découvrir d'autres pointements minéralisés. Le moindre indice en surface était vérifié par le percement d'une galerie ou d'un puit. Toutefois, hormis le site de la mine, les indices minéralisés furent tous jugés insuffisants pour entamer une phase d'exploitation proprement dite. Néanmoins, leur étude approfondie et les comparaisons entre le site de la mine et ces autres occurrences apportent une multitude d'informations.

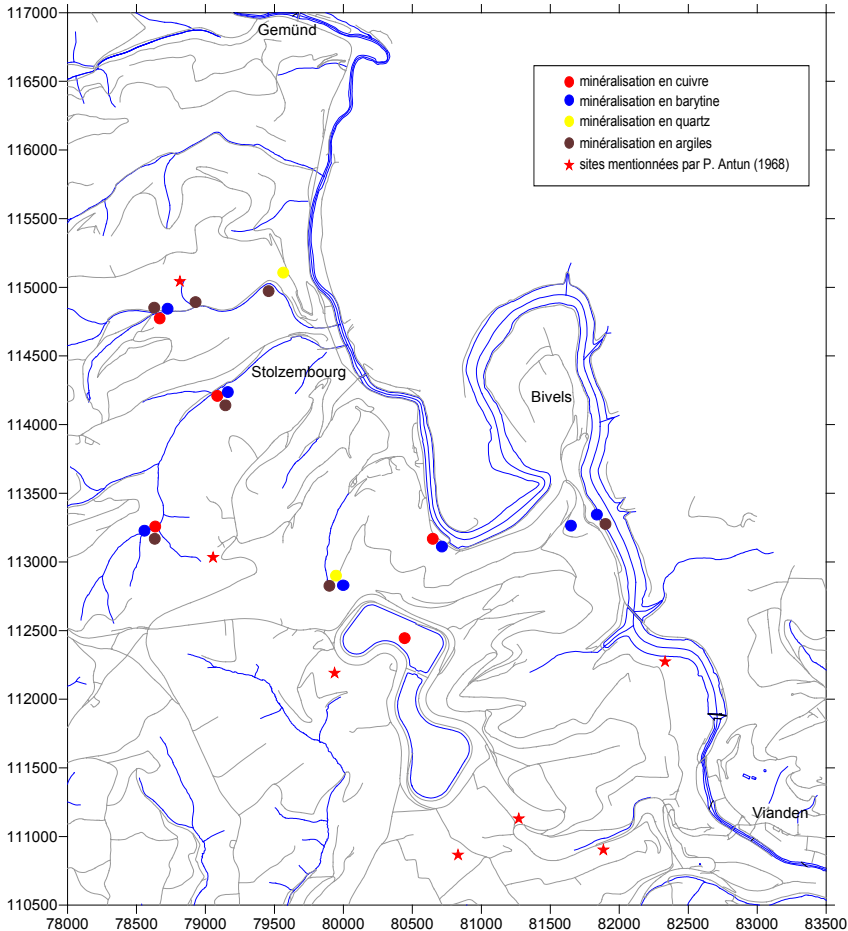


Fig. 4.1: Carte topographique localisant les dix-huit occurrences relevées par Antun (1968) et son interprétation.

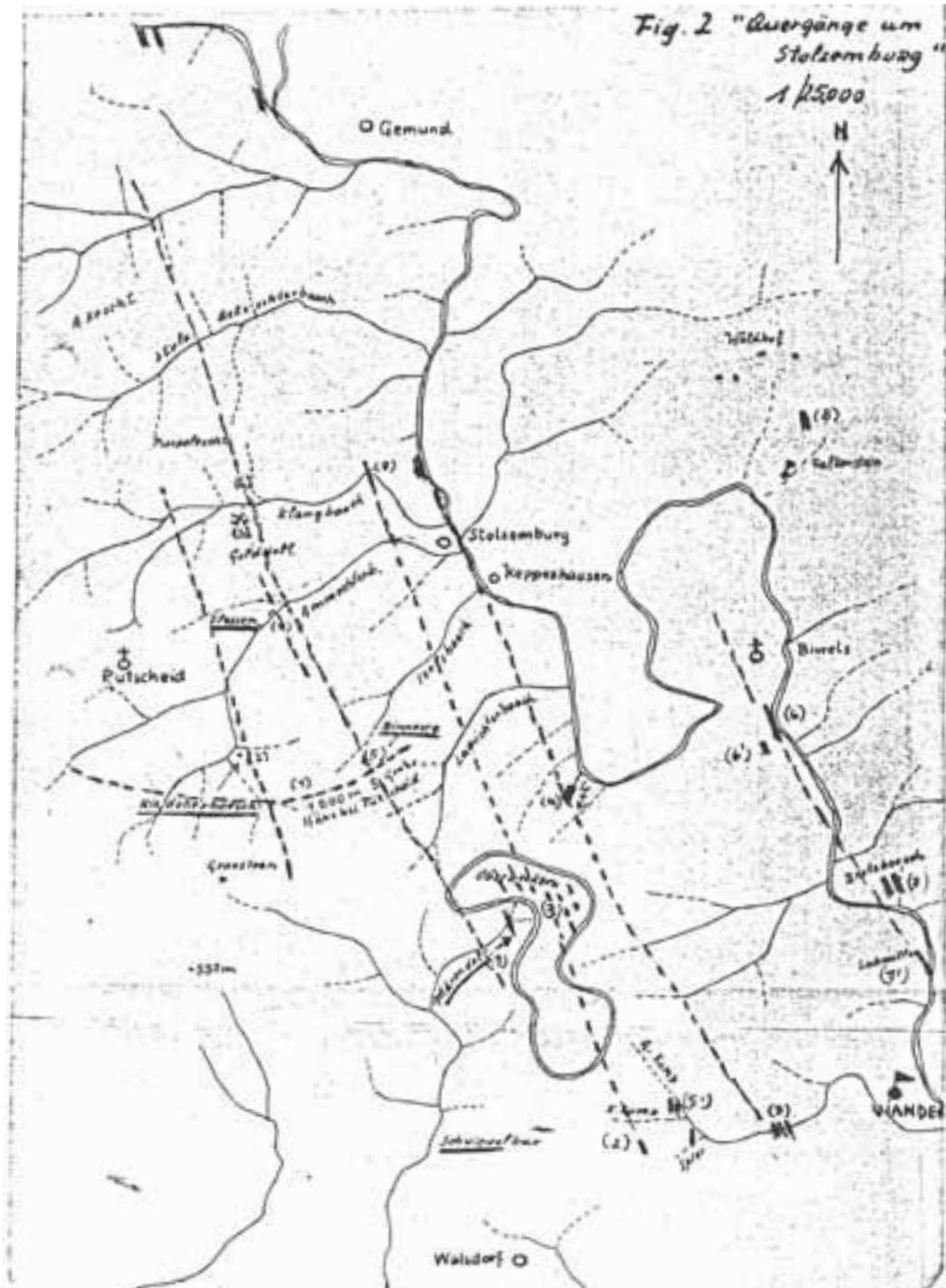


Fig. 4.2: Carte topographique localisant les sept occurrences étudiées en détail, avec information sur le type de minéralisation: présence de cuivre, de baryte, de quartz ou seulement d'argile; et certains des points relevés par Antun (1968).

Antun (1968) réalise, sur base des données de la littérature, le premier inventaire des indices de minéralisation dans les environs de la mine de Stolzenbourg. Il en relève dix-huit et les localise sur une carte. Sa carte est présentée sur la figure 4.1. L'auteur essaye sur cette même figure d'extrapoler les données en reliant ces pointements et l'interprétation qu'il en donne montre six filons de direction NNW-SSE.

Lors de notre étude, débutée en 1999, nous avons eu l'occasion de participer à la réouverture de sept de ces galeries et de pouvoir en réaliser la cartographie et l'étude géologique, structurale et minéralogique. Les autres affleurements signalés par Paul Antun, non accessibles, n'ont pu être étudiés.

Les sept points étudiés, à savoir: le site de la mine, la galerie d'exploration du Fléssen, la galerie d'exploration du Riedgerboesch, la galerie d'exploration du Mont-Saint-Nicolas, la 'Kaverne' de la Centrale hydroélectrique de l'Our (SEO), le filon de Bivels et la galerie d'exploration du Klangbaach; seront décrits successivement aux chapitres 5 et 6 du point de vue cartographie, géologie et structurale. La minéralogie de tous ces sites sera abordée au chapitre 7. Pour résumer les données qui seront présentées dans ces chapitres, nous avons réalisé une compilation des types de minéralisations à la figure 4.2.

5. Le site de la mine

5.1. Localisation

Les installations de la mine de cuivre de Stolzenbourg ont déjà été décrites en long et en large dans le chapitre traitant de l'historique de la mine. Rappelons juste qu'elles sont localisées à un peu plus d'un kilomètre à l'ouest du village dans la vallée du Klangbaach.

Nous allons maintenant décrire la minéralisation et la replacer dans son contexte.

5.2. Plan des travaux

Les différents plans des travaux ont été présentés dans le chapitre traitant de l'historique. Il faut

savoir qu'actuellement, comme le niveau de la nappe aquifère se situe au milieu de la galerie 3, seuls les galeries 1 et 3 sont accessibles. Nos descriptions ne proviennent donc que de celles-ci. Ce niveau est rabattu artificiellement par la galerie d'exhaure depuis 1858.

5.3. La minéralisation

5.3.1. Géométrie de la minéralisation

Le filon minéralisé exploité sur le site de la mine peut dans une première étape être approximé comme un plan de direction NNO-SSE avec un pendage moyen de 60° vers l'Ouest. Lucius (1948) signale que ce pendage augmente à 65° après le niveau d'exploitation numéro neuf. Tous les auteurs s'accordent à dire que dans ce plan dont l'épaisseur varie entre 0,1 et 1,8 mètres, le minerai est distribué de manière irrégulière en formant des poches dans une matrice à dominante d'ankérite.

Orth (1902) a rédigé un rapport sur la rentabilité et la possibilité de continuer l'exploitation du cuivre à Stolzenbourg. Il a eu l'occasion à l'époque d'effectuer des observations sur l'entièreté de la mine. Il émet l'idée d'une configuration du gîte métallifère sous une forme en chapelet avec des filons assez réguliers, augmentant en puissance vers la profondeur, dans lesquels des lentilles de minerai sont dispersées sans régularité ni loi marquée (fig. 5.1.).

Lucius (1948) est le premier à caractériser la géométrie de la minéralisation sous la forme de colonnes minéralisées arborescentes dans le plan du filon. C'est-à-dire que dans la partie supérieure de la mine, les filons sont individualisés et que dans la partie inférieure, ils se regroupent pour former un filon plus homogène (fig. 5.2.).

Schreurs (1981) considère que la minéralisation suit un réseau de joints en échellons. Ces joints n'étant pas continus sur de longues distances et pouvant se réduire ou se fermer en quelques mètres.

Nos observations et les considérations des auteurs que nous venons de citer ci-dessus, nous permettent d'émettre l'hypothèse d'une structure du gisement en 'Ore shoots' autrement appelée 'structure en colonnes minéralisées verticales' (fig. 5.3.). Selon Schreurs (1981), la 'cheminée des

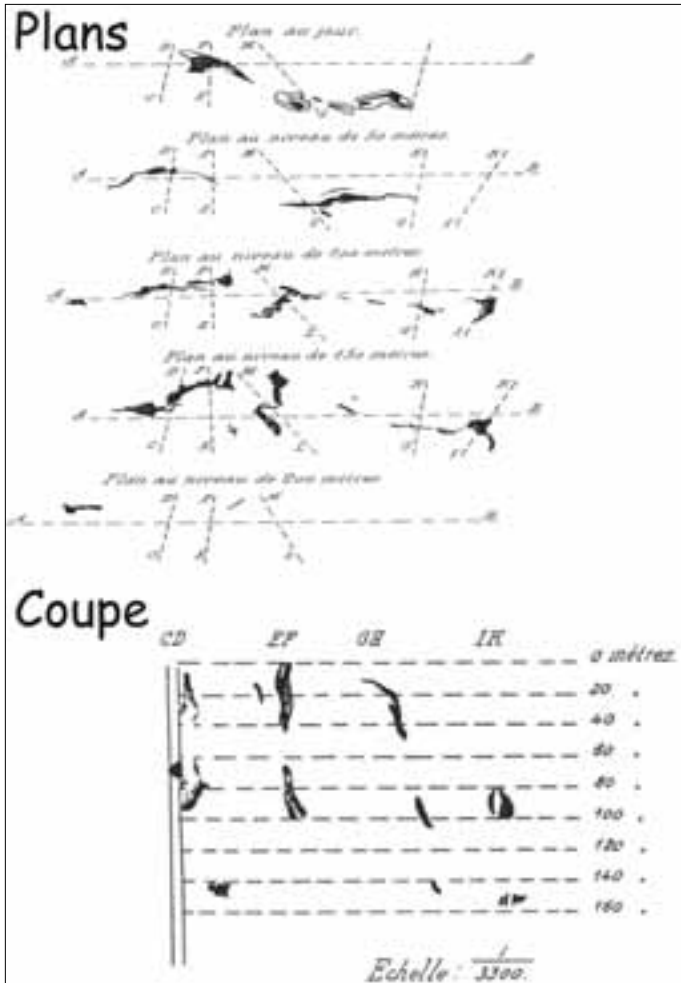


Fig. 5.1: Vue en plan et en coupe de l'allure des filons sur cinq niveaux différents (Orth, 1902).

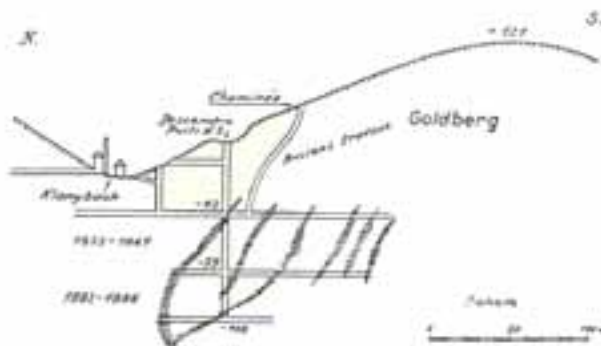


Fig. 5.2: Vue en coupe de la mine présentant les colonnes minéralisées arborescentes (Lucius, 1948).

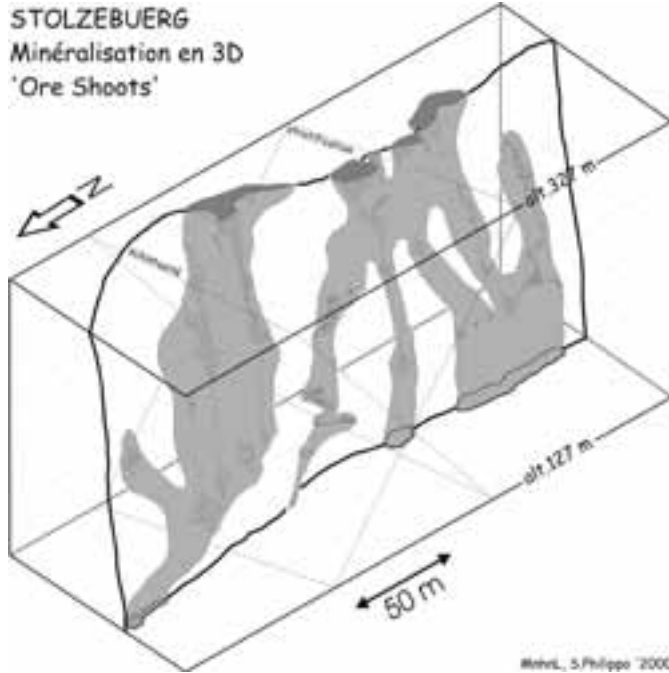


Fig. 5.3: Essai d'extrapolation en 3 dimensions de la minéralisation de Stolzebourg, montrant la structure en 'Ore shoots'.

anciens' suit la colonne minéralisée la plus riche. L'observation des anciens plans de la mine suggère que ces colonnes ont tendance à se regrouper vers la profondeur. L'allure générale de la minéralisation a donc une forme d'arbre projeté dans le plan du filon.

L'extrapolation des données de Orth (1902) en tenant compte de nos observations de terrain

et des données des autres auteurs ont permis la réalisation d'une image en trois dimensions de la minéralisation de Stolzebourg (fig. 5.3).

5.3.2. La minéralisation sensu stricto

Les colonnes minéralisées sont remplies par ce que Nix (1985) et Lucius (1948) appellent le **minerai grossier**. Ce minerai est composé de chalcoppyrite en grandes plages de plusieurs centimètres incorporées dans la matrice d'ankérite avec une teneur en cuivre variant entre 14 et 18 % en poids.

Entre les colonnes minéralisées, dans le plan du filon, on trouve le **minerai disséminé**. Dans ce minerai disséminé, les mouchetures de chalcoppyrite dans la gangue d'ankérite sont de la taille du millimètre. Ce minerai disséminé est souvent de couleur rouge. Nix (1985) a mis en évidence que cette couleur était due à la présence de fines particules d'hématite recouvrant l'ankérite et le quartz. Cette couleur a induit les 'anciens' en erreur. Pensant avoir affaire à des carbonates rouges, ils ont donné à ce minerai le nom de 'diallogite', ancienne appellation pour la rhodocrosite.

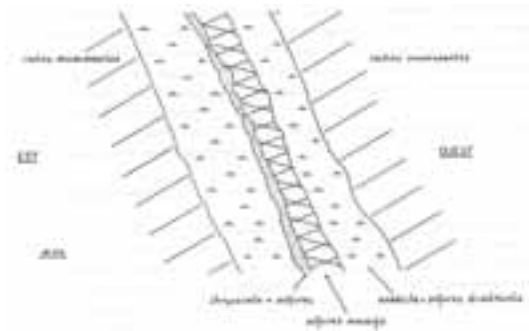


Fig. 5.4: Dessin schématique des minerais et de la relation minéralisation-encaissant dans le filon au niveau 3 (Nix, 1985).

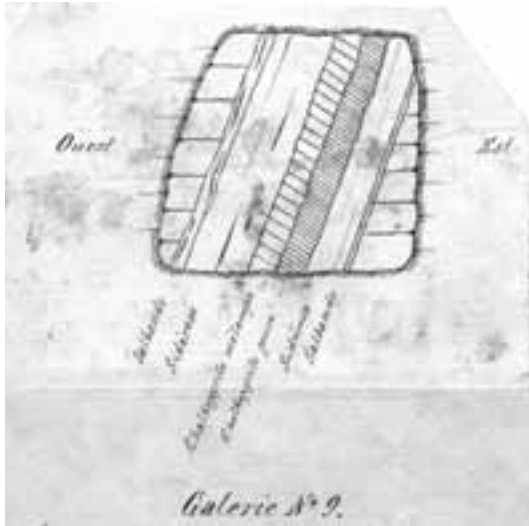


Fig. 5.5: Schéma du filon au neuvième niveau (auteur inconnu).

Cette appellation est reprise sur certains plans du début du siècle sous forme d'annotations.

La différenciation entre ces deux minerais est figurée sur le croquis de Nix (fig. 5.4.) et sur le schéma du filon réalisé par un auteur inconnu (fig. 5.5.). Ce croquis présente le filon entre ses deux épontes, tel qu'il se présente au neuvième niveau. Ce croquis bien que réalisé au début du siècle est assez ressemblant à celui de la figure 5.4.

Le minerai disséminé est appelé 'schiste rouge' par Lucius (1948). Il lui donne ce nom car les veines minéralisées rouges ont souvent une apparence bréchique avec de nombreuses inclusions de schistes rubéfiés.

Cet auteur estime que le mur des filons est formé par ces schistes rouges sur 1 mètre d'épaisseur. Schreurs (1981) préfère lui donner le nom de 'minerai rouge'. Il le décrit comme contenant des fragments angulaires de schiste dans une matrice de quartz et de carbonates avec des pointements de chalcopryrite disséminés dans la masse. La teneur en cuivre de ce minerai serait de l'ordre de 2,2 % en poids. Avec une telle teneur, ce minerai n'a jamais été considéré comme économiquement rentable par les anciens. Toutefois, il faut savoir que les réserves en minerai disséminé sont, selon Antun (1968), cent fois supérieures à celles en minerai grossier.

5.3.3. Relation encaissant - filon

Nous avons eu l'occasion d'observer la minéralisation au niveau de la galerie 1. Bien que le filon soit fortement altéré, sa géométrie et les relations avec l'encaissant sont nettement visibles. La figure 5.6. présente un croquis du filon épais de trente centimètres entre ses deux épontes de schiste. Nous pouvons voir sur ce dessin la gangue (en blanc), le minerai (gris foncé), l'encaissant (gris moyen) et des alignements de quartz (gris clair) parallèles aux épontes. Si nous comparons ce croquis avec le schéma de la figure 5.4., nous constatons que la relation encaissant – filon n'est pas toujours aussi parfaite. Souvent c'est la gangue qui est en contact avec l'encaissant mais comme le minerai se présente sous la forme de filonnets, par moment, c'est lui qui est au contact avec l'encaissant.

La figure 5.7. présente cette relation à l'échelle d'un échantillon de la taille d'un poing. Nous pouvons voir que le contact encaissant / minéralisation est

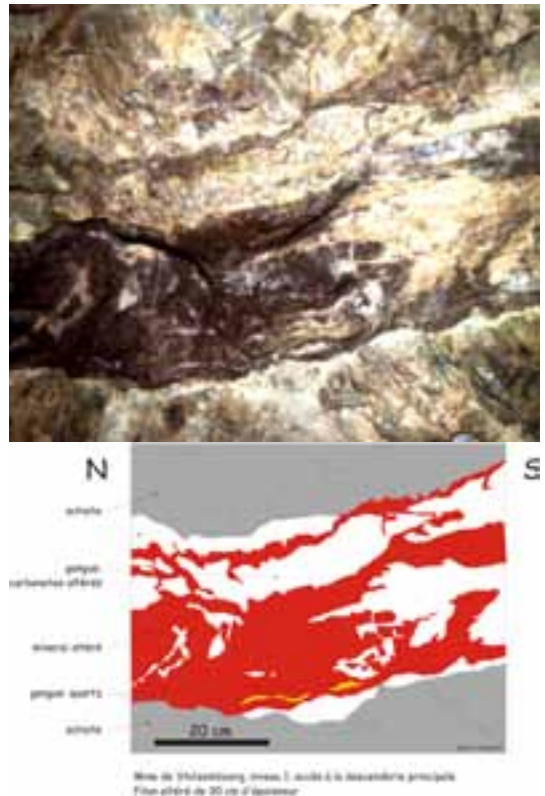


Fig. 5.6: Photo et Croquis du filon altéré du niveau 1.

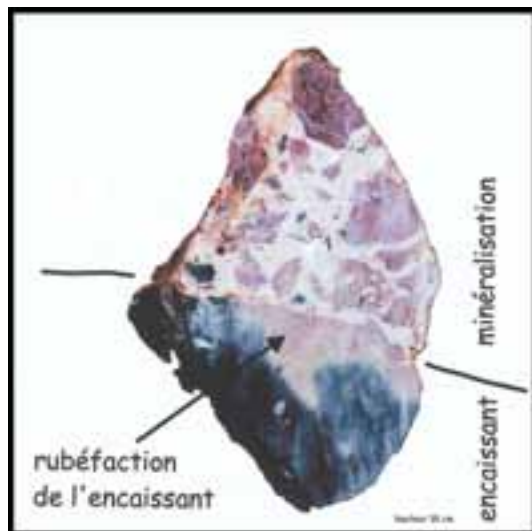


Fig. 5.7: Photo d'un échantillon du MnhnL présentant la relation minerai disséminé - encaissant (échelle ½).

net, d'une part le schiste encaissant, d'autre part, la minerai disséminé. La structure bréchiue et ses fragments de schiste rouge sont parfaitement visibles sur cette photo. Nous voyons également que l'encaissant est partiellement rubéfié au contact filon - encaissant, rubéfaction de même teinte que celle des fragments inclus dans la brèche, résultant du lessivage de l'encaissant par les fluides minéralisateurs.

Au niveau 3 de la mine, nous avons observé la minéralisation en trois endroits. L'affleurement le plus au sud est un filon, épais d'environ soixante centimètres, composé de carbonates altérés et de minerai massif recouvert de malachite. Il se situe au pied de la 'cheminée des anciens'. C'est sur base de celui-ci que Nix (1985) a réalisé la figure numérotée 5.4. dans cette publication.

5.4. Les extensions de la minéralisation

Orth (1902) est convaincu que le district minier de Stolzenbourg contient de nombreux filons parallèles suite à l'observation d'un filon de minerai de 7 centimètres de puissance dans la vallée du Riedgerbësch.

Ce sentiment est partagé par Antun (1968) qui parle de six filons parallèles de direction NNO-

SSE (fig. 4.1.)

De manière à vérifier les extensions régionales de cette minéralisation en cuivre, Nix (1985) effectue une prospection géophysique sur le site de la mine et dans ses alentours. Il réalise quatre profils au moyen du VLF (very low frequency) et du magnétomètre à protons. Le premier est réalisé dans la vallée du Klangbaach, de part et d'autre de la mine; le second, le long de l'Ammerschterbaach; le troisième sur le sommet du Golddell et le dernier sur le sommet du Purpelescht, de manière à encadrer la mine tant au nord qu'au sud. La figure 5.8. présente ces tracés et l'interprétation que Nix en fait sur la carte des directions du ou des filons.

Les interruptions du tracé du filon de Nix (1985) à l'aplomb de la mine (profil 1) tant au nord qu'au sud peuvent suggérer des failles ENE-OSO.

Malgré la critique qui peut être apportée à la méthodologie appliquée par Nix et surtout au traitement des données géophysiques récoltés, cette hypothèse d'un rejet du filon par des failles ENE-OSO est confortée par des observations de terrain faites au niveau 1 et par l'analyse des croquis des auteurs précédents. Antun (1968) lors de son étude de la mine, réalise un plan du neuvième niveau. Sur ce plan repris à la figure 5.9., il localise une famille de failles ENE-OSO parallèles rejetant le filon. On peut voir sur cette figure que les extensions sud et nord de la minéralisation sont limitées par des failles du même type et que ces limitations peuvent être mises en relation avec le tracé du filon selon Nix (fig. 5.8.).

Lors de notre étude du niveau 1 de la mine, nous avons pu observer, au plafond de la galerie, une faille normale Est-Ouest (pendage orienté de 40° vers 240°). Cette faille rejette le filon d'environ vingt centimètres. Cette observation est présentée à la figure 5.10.

Ces arguments amènent à penser que le filon minéralisé a été tronçonné par des failles normales de direction ENE-OSO. On peut dès lors poser l'hypothèse d'un seul filon minéralisé et décalé par des failles en lieu et place des hypothèses de H. Orth et P. Antun qui imaginaient plusieurs filons parallèles.

L'étude des autres sites nous aidera sans doute à mieux comprendre la géométrie régionale de la minéralisation.

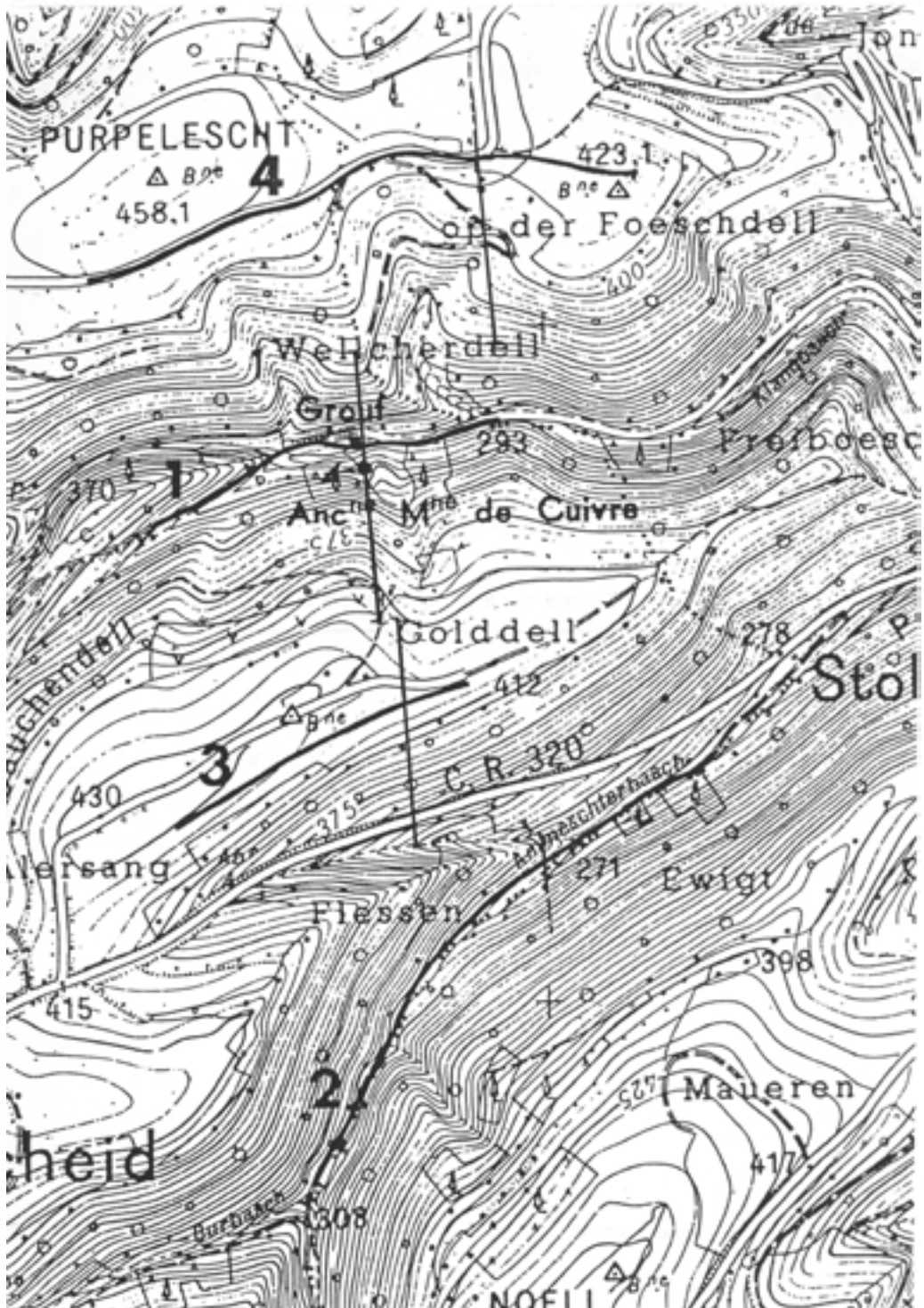


Fig. 5.8: Carte reprenant les différents profils géophysiques et les directions des filons (Nix, 1985).

6. Les autres occurrences

6.1. La galerie du Fléssen

6.1.1. Localisation

La galerie d'exploration du Fléssen se situe dans le vallon de l'Ammeschterbaach, près de la confluence avec le Fléssen. C'est le site numéroté (2) sur la figure 4.2. Les coordonnées Gauss Luxembourg de l'entrée de la galerie sont 79037 - 114240.

L'entrée de la galerie et la projection du tracé de celle-ci sur la carte topographique au 1/1000^{ème} sont présentés à la figure 6.1. À vol d'oiseau, elle se trouve six cent mètres au sud de la mine.

6.1.2. Plan des travaux

La galerie se présente en un seul niveau, sa hauteur moyenne est de 1,7 mètre et la largeur d'environ

1 mètre. La forme de la galerie est variable. En effet, la partie qui suit la stratification a des parois droites et un toit qui se situe à 1,7 mètre (photo 1). Par contre, celle en travers banc a une forme plus arrondie avec un toit rabaissé (photo 2).

La galerie est de direction nord-sud sur environ trente mètres. Ensuite, elle prend une direction ESE-ONO sur une quatre-vingtaine de mètres. Après environ soixante mètres en direction ESE-ONO, une bifurcation longue de vingt mètres part en direction NNO-SSE. Le plan de cette galerie est visible sur la figure 6.2., sa projection sur la carte topographique a déjà été présentée à la figure 6.1.

6.1.3. La minéralisation

6.1.3.1. Géométrie de la minéralisation

Deux types de filons ont été mis en évidence dans les trente premiers mètres de la galerie: un filon de barite et un filon de cuivre.

Le filon de barite, dont le pendage orienté est de 80° vers 220°, a une épaisseur variable avec une

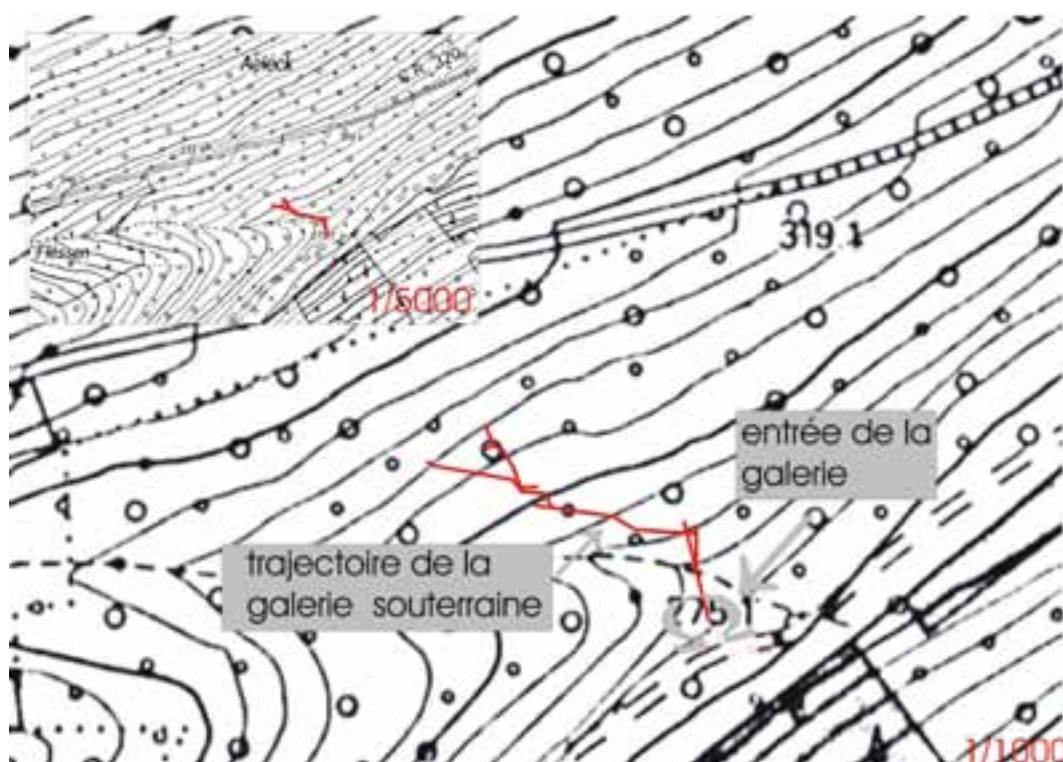


Fig. 6.1: Carte de localisation de la galerie du Fléssen.

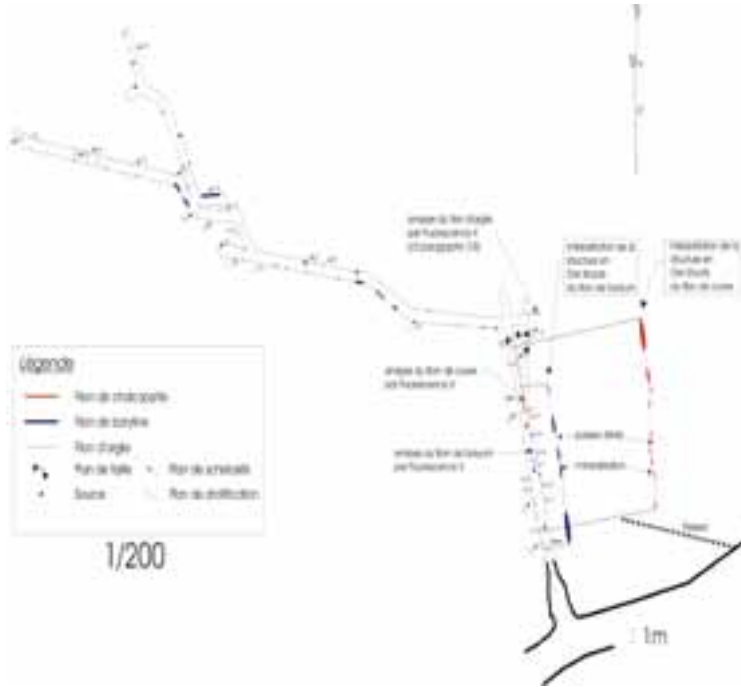


Fig. 6.2: Plan de la galerie d'exploration du Fléssen.

moyenne de 20 cm. Le filon du cuivre, également d'épaisseur variable (moyenne 5 cm), a un pendage orienté de 80° vers 80°. Ces deux filons sont sécants l'un par rapport à l'autre et quasiment de direction nord-sud.

Dans les extensions ESE-ONO et NNO-SSE de la galerie, seuls des pointements de barite ou de sidérite sont visibles.

Les filons ont été cartographiés et sont reportés sur la figure 6.2.; les filons de barite sont en trait gras tandis que les filons de chalcoppyrite sont en trait moyen. Cette carte reprend également quelques données structurales mesurées dans la galerie: plan de stratification, plan de schistosité et plans de faille.

Selon Schreurs (1981), qui a également eu l'occasion de visiter cette galerie, le filon de cuivre observé au Fléssen est une portion du système de veines minéralisées en écailles décrit pour le site de la mine.

Nos observations nous amènent à constater que le tracé du filon est composé de passées stériles et de passées minéralisées. Nous retrouvons donc la structure en 'Ore Shoots' décrite dans la mine. Ces observations

sont également reprises sur la figure 6.2.

Lucius (1948) donne la description suivante des travaux réalisés au Fléssen. Ce texte donne une bonne description de la galerie et de la structure du minerai.

« Guidé par quelques affleurements de minerai de cuivre, on perça une galerie dans l'Ameschterbach, à l'endroit dit 'Fléssen'. En janvier 1855, on était avancé de 50 m en direction NE. Jusque là on n'avait rencontré que quelques minces filons de pyrite cuivreuse, mais à 50 m de l'orifice on repéra une zone compacte de minerai de cuivre, épaisse de 5 à 7 cm, accompagnée d'un peu de barytine. Depuis lors on continuait à poursuivre cette galerie dans le filon qui, par endroits, s'enrichit, en d'autres s'appauvrit (...). A 90 m du jour, la roche devint très compacte et le filon disparut complètement. Pour cette raison, on alla pas plus en avant; mais on perça à droite, vers le SE, une galerie latérale, en poursuivant des traces de minerai, qui disparurent bientôt également. »

6.1.3.2. La minéralisation en cuivre

Le tracé du filon de cuivre peut être suivi au plafond de la galerie sur les trente premiers mètres. Les épontes du filon sont tapissées de petits quartz de quelques millimètres en cristallisation palissadique recouverts par endroits de cristaux de sidérite. Entre ces épontes, la chalcopryrite se présente de manière massive.

Une analyse par fluorescence X du filon de cuivre, effectuée par Bornain (1999), montre une teneur cuivre de 29,9 %.

6.1.3.3. La minéralisation en barite

Le filon de barite a un tracé continu sur les trente premiers mètres de la galerie. Les épontes du filon sont tapissées de petits quartz de quelques millimètres en cristallisation palissadique. La barite se présente en plaquettes rosâtres de 2 x 1 centimètres avec une épaisseur de quelques millimètres.

Une analyse par fluorescence X de la barite, effectuée par Bornain (1999), donne une teneur en BaSO₄ de 85,8% et une teneur en SrSO₄ de 4,65%, teneur particulièrement élevée pour une barite.

6.1.4. Les extensions de la minéralisation

Schreurs (1981) suppose que d'autres parties de veine doivent se retrouver au nord ou au nord-est de l'entrée de la galerie du Flëssen. Cette hypothèse serait en relation avec l'observation de la distribution irrégulière des veines observées sur le site de la mine.

Les relevés que nous avons faits dans la galerie nous ont permis de noter la présence de deux familles de failles: la première avec un pendage orienté moyen de 74°/274° et la seconde avec un pendage orienté moyen de 74°/342°.

Nous avons donc des traces de failles Nord-Sud parallèles aux minéralisations et qui doivent correspondre aux épontes de celle-ci et des failles Est-Ouest qui pourraient être, comme sur le site de la mine, la cause de l'interruption de la minéralisation dans la galerie. La nouvelle orientation de la galerie (ESE-ONO) donnée par les ouvriers en 1855 avait sans doute pour but d'essayer de recouper la minéralisation. Cet objectif ayant été partiellement atteint car le filon de barite a été recoupé par deux fois.

Une question reste toutefois en suspens. Quelles sont les extensions tant au nord qu'au sud de la minéralisation en barite, tout en sachant qu'aucun auteur ne signale d'occurrence de barite sur le site de la mine?

6.2. La galerie du Riedgerbësch

6.2.1. Localisation

La galerie d'exploration dite du Riedgerbësch se situe le long d'un affluent de l'Ammeschterbaach. C'est le site numéroté (3) sur la figure 4.2. Les coordonnées Gauss Luxembourg de l'entrée de la galerie sont 78478 – 113194.

L'entrée de la galerie sur la carte topographique au 1/1000^{ème} sont présentés à la figure 6.3.

C'est Willière (1904), dans son rapport sur la Mine de Stolzenbourg qui signale en premier cette galerie. Il en parle avec les termes suivants:

«En remontant le ruisseau 'Ammeschterbach' on arrive au 'Rettigerbuch' où il existe un filon cuivreux, dans lequel on a ouvert une galerie. On y a rencontré une branche de chalcopryrite ayant jusqu'à 0m07 de puissance et dont les échantillons ont donné à l'analyse 24-15 % de cuivre et 21 grammes d'argent par tonne de minerai»

Lucius (1948) nous donne des précisions supplémentaires sur cette galerie:

«En 1857, des travaux de recherches furent exécutés dans un ravin dit 'Retticherbusch', sur le ban de Putscheid. On y poussa une galerie sur 80 m de longueur, en direction Nord-Est, dans un filon composé principalement d'argile, de barytine, de quartz et de pyrite cuivreuse, et dont la puissance variait entre 0,02 et 0,08 m. Le résultat obtenu n'était pas satisfaisant.»

Cette galerie est décrite ci-dessus par Willière (1904) et par Lucius (1948) mais jamais localisée précisément. En 1999, nous avons donc entamé une prospection systématique de tout le bois à flanc de coteau, à la recherche d'une excavation mais surtout d'un talus de déblais. La première journée de prospection fut payante. Il fallut ensuite mettre en commun nos efforts et les moyens techniques des autorités locales pour ouvrir l'entrée et vidanger la galerie qui était pratiquement entièrement inondée.



Fig. 6.3: Carte de localisation de la galerie du Riedgerbësch.

6.2.2. Plan des travaux

La galerie est creusé au niveau de la rivière en direction plein nord sur une longueur de 77 mètres. Deux entrées différentes ont été percées avec une dénivelée de 1,5 m entre les deux.

Sur les trente premiers mètres, la galerie a une hauteur de 4 m et une largeur de 1 m. Ces dimensions inhabituelles pour des galeries de nos régions donnent l'impression d'être dans une cathédrale. Des traverses en bois ont été disposées en travers de la galerie à environ 60 cm du sol à raison d'une tous les 2 mètres. Elles devaient servir de support à un plancher en-dessous duquel l'eau d'infiltration pouvait s'évacuer de la galerie. Ce doit être la raison de la hauteur de la galerie.

Vers 27 m, un croiseur part à 2 m du sol vers l'ouest sur 15 m. Après 30 m, la galerie retrouve des dimensions normales, plafond à 1,8 m du sol.

A 47 m de l'entrée, la galerie a été élargie formant une salle de 4x4 m. Dans un coin de cette salle, il y a un puits de 1x1 m et profond de 15 mètres. Le fond du puits n'a pût être exploré mais à 6 m du niveau de base, une galerie de direction Nord a été creusée sur 7 m.

A 63 m, la galerie se subdivise en trois pour s'arrêter une dizaine de mètres plus loin.

Le plan de cette galerie est visible sur la figure 6.4.

6.2.3. La minéralisation

6.2.3.1. Géométrie de la minéralisation

Trois types de filons ont été mis en évidence dans cette galerie: un filon de barite, un filon de cuivre, et un filon de quartz et carbonates.

Le filon de barite, dont le pendage orienté est de 85° vers 266°, a une épaisseur variable avec une

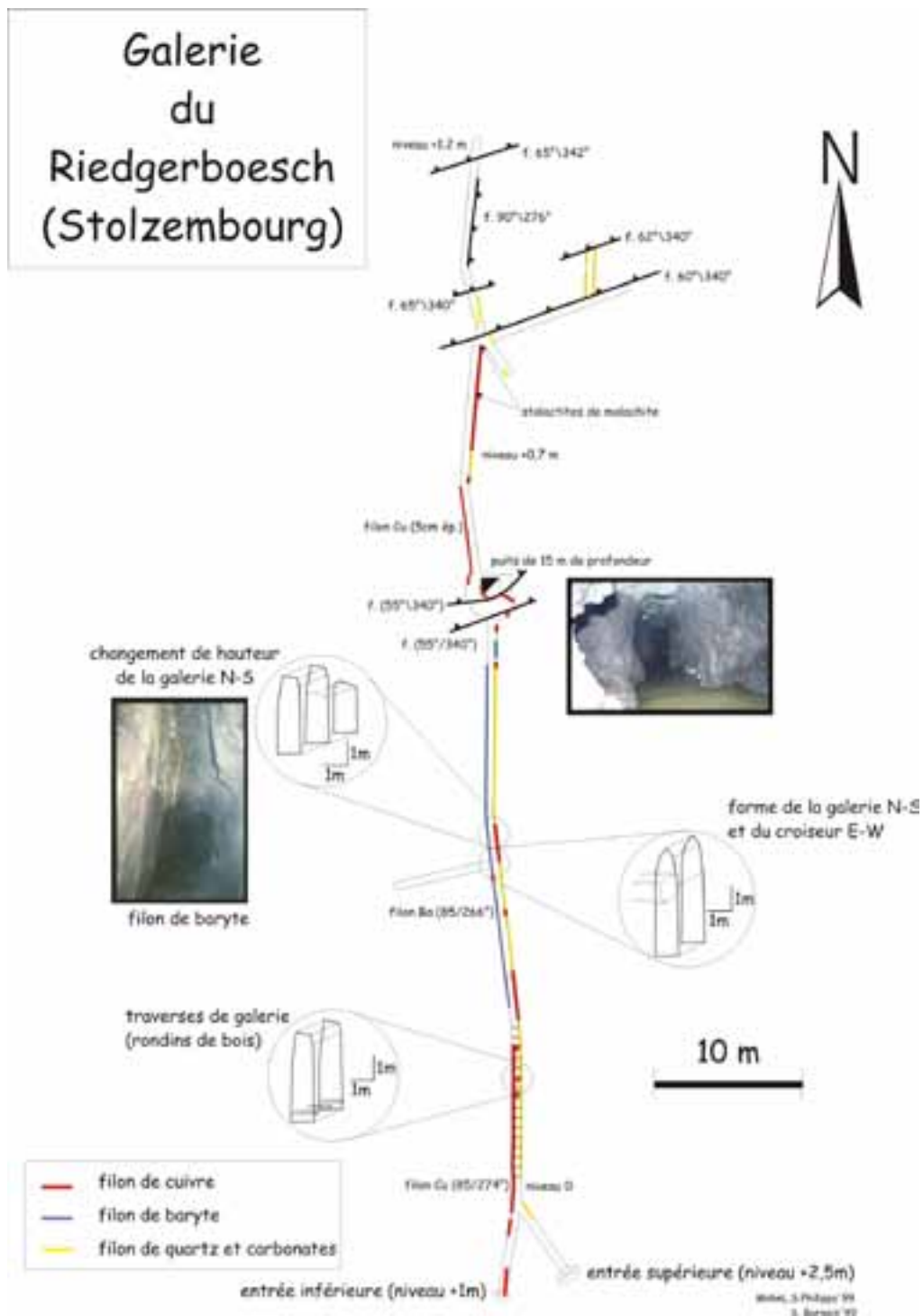


Fig. 6.4: Plan de la galerie du Riedgerbësch.

moyenne de 15 cm. Le filon de cuivre, également d'épaisseur variable (moyenne 7 cm), a un pendage orienté de 85° vers 274° . Ces deux filons sont parallèles et on a parfois l'impression d'une prise en relais de l'un par l'autre. Le côté Est de la galerie présente des plaquages de quartz et de carbonate fortement altéré ayant l'habitus crêté de la sidérite. Dans les dix derniers mètres de galerie, ce sont les seules traces de minéralisation visibles.

6.2.3.2. La minéralisation sensu stricto

Le tracé du filon de cuivre est visible sur les 63 premiers mètres de la galerie puis disparaît. Les épontes du filon sont tapissées de quartz avec un remplissage par de la chalcoppyrite massive souvent irisée dans des teintes bleutées.

Une analyse par fluorescence X du filon de cuivre, effectuée par le MnhnL (2002), montre une teneur cuivre de 29,7 %.

Le filon de barite a un tracé qu'il est possible de suivre sur une vingtaine de mètres. Les épontes du filon sont tapissées de quartz et la barite se présente en plaquettes blanches dont la taille varie de 1 à 3 centimètres.

Une analyse par fluorescence X de la barite, effectuée par Bornain (1999), donne une teneur en BaSO_4 de 91,9% et une teneur en SrSO_4 de 3,03%.

6.2.4. Les extensions de la minéralisation

Le levé dans la galerie nous a permis de noter la présence de deux familles de failles: la première avec un pendage orienté moyen de $90^\circ/276^\circ$ et la seconde avec un pendage orienté moyen de 55° à 65° vers 340° .

Ces mesures sont très proches de celles effectuées dans la galerie du Fléssen.

Nous retrouvons des failles Nord-Sud parallèles aux minéralisations formant les épontes de celles-ci et des failles Est-Ouest qui les rejettent. L'effet des failles Est-Ouest est particulièrement bien observable sur la figure 6.4. au niveau de la salle du puits. Le filon de cuivre est rejeté d'1 m par chacune des failles. A 63 m de l'entrée, une série de failles de même orientation rejettent la minéralisation. Les travaux de diversification des dix derniers mètres n'ont pas permis de les retrouver.

6.3. La galerie du Mont-Saint-Nicolas

6.3.1. Localisation

La galerie d'exploration dite du Mont-Saint-Nicolas se situe à une centaine de mètres au nord du bassin supérieur de la SEO. C'est le site numéroté (4) sur la figure 4.2. Les coordonnées Gauss Luxembourg de l'entrée de la galerie sont 79964 – 113003.

L'entrée de la galerie est localisée sur le croquis de la figure 6.5.

6.3.2. Plan des travaux

La galerie se présente en un seul niveau, sa hauteur moyenne est de 1,5 mètres et la largeur d'environ 1 mètre.

La galerie est de direction SSE et longue de quinze mètres.

Le plan de cette galerie est visible sur la figure 6.5.

6.3.3. La minéralisation

La minéralisation est très pauvre. Seules des traces de barite et de quartz ont été retrouvées associées à de l'argile. Le pendage orienté du filon d'argile est de 64° vers 60° . Ces données vont dans le même sens que celles observées précédemment.

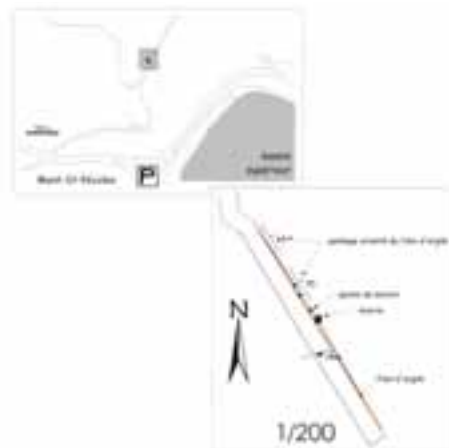


Fig. 6.5: Carte de localisation et plan de la galerie du Mont-Saint-Nicolas.

6.4. La galerie de la SEO

L'Usine SEO (Centrale hydroélectrique de l'Our) est localisée le long de l'Our entre les villages de Bivels et de Stolzembourg. C'est le site numéroté (5) sur la figure 4.2. Les coordonnées Gauss Luxembourg de l'usine sont 80571 – 113407.

Lors des travaux de creusements des tunnels reliant l'usine et le bassin supérieur du Mont-Saint-Nicolas, en 1964, le géologue luxembourgeois J. Bintz préleva des échantillons de barytine. Ces échantillons, déposés au Musée national d'histoire naturelle, sont les témoins de cette occurrence.

Il ne nous a pas été possible d'observer ces galeries car elles ont été entièrement bétonnées mais un des échantillons conservés au musée est certainement le plus beau spécimen de barite observé pour la région. Il est présenté en photo sur la figure 6.6. et montre de grands cristaux de barite rosée en plaquette surmontés par des cristaux idiomorphes de chalcopyrite.

6.5. Le filon de barite de Bivels

6.5.1. Localisation

Le filon de barite de Bivels est localisé le long de la route qui rejoint le village de Bivels par le bas. C'est le site numéroté (6) sur la figure 4.2. Les coordonnées Gauss Luxembourg de l'affleurement sont 81829 – 113362.

Lucius (1948) décrit la première approche de la minéralisation en barite par les exploitants de la mine.

«La même année (année 1857) des recherches furent faites à Bivels, au niveau de l'Our, pour atteindre un filon, dont on voyait l'affleurement à la surface de la montagne; ces recherches aussi ne donnèrent aucun résultat»

6.5.2. La minéralisation

Le filon de barite de Bivels apparaît sous la forme d'une tache blanche dans la paroi rocheuse à une



Fig. 6.6: Echantillon de barite et chalcopyrite prélevé en 1964 par J.Bintz dans la galerie de la SEO - Collection MnhnL, référence ZB001. Taille des cristaux 20 mm.

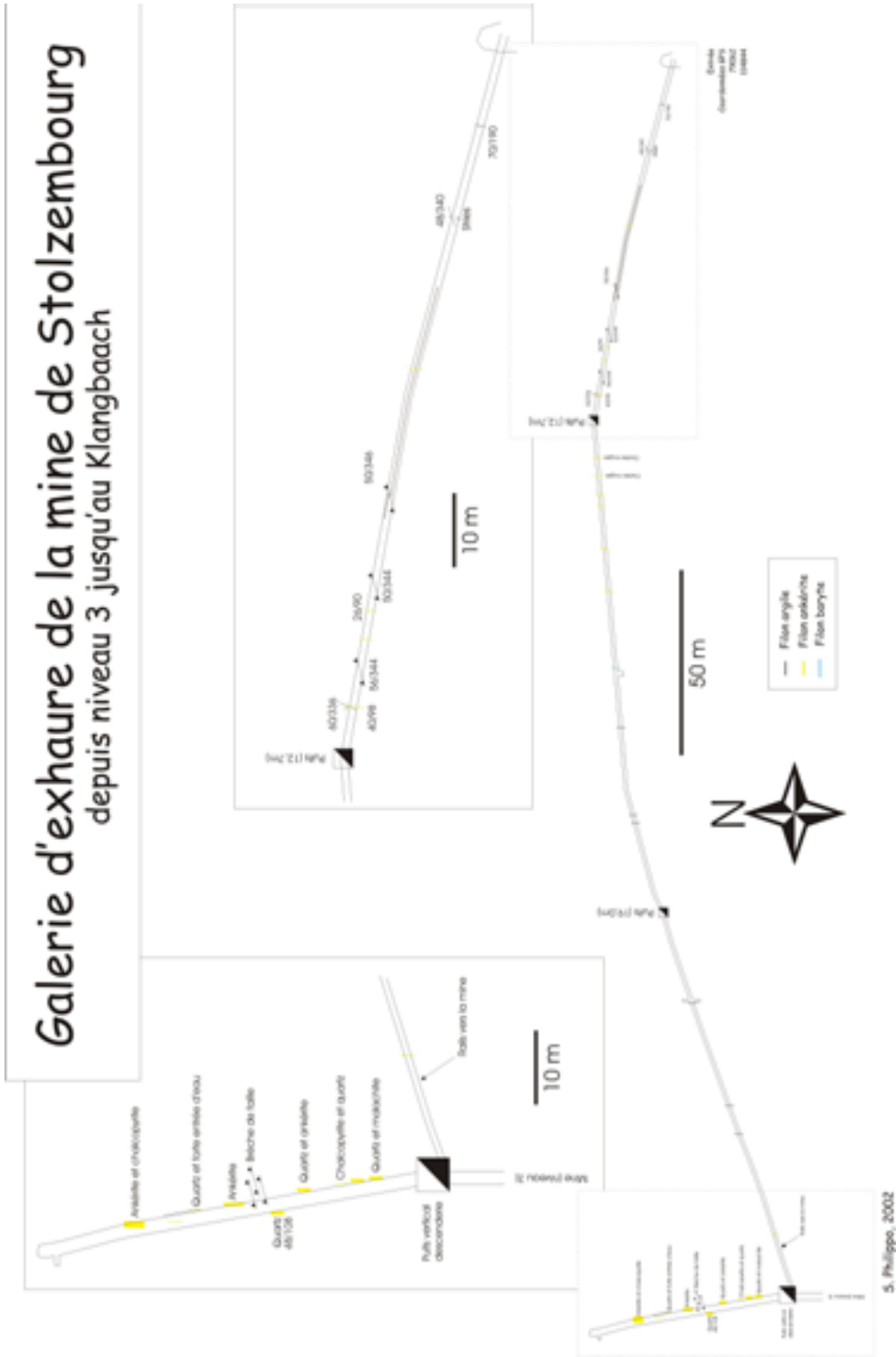


Fig. 6.7: Plan de la galerie d'exhaure de la mine de Stolzenbourg.

Galerie d'essai le long du Klangbaach



Fig. 6.8: Plan de la galerie d'essai le long du Klangbaach.

dizaine de mètre de hauteur. Son épaisseur est de l'ordre du mètre. Il s'agit du plus gros filon de barite observé dans la région. La minéralisation se présente avec un pendage orienté de 70° / 235°N et se compose essentiellement de barite en plaquettes avec présence de quartz, sidérite et chalcopryrite.

Une analyse par fluorescence X de la barite, effectuée par Bornain (1999), donne une teneur en BaSO₄ de 90,2 % et une teneur en SrSO₄ de 5,61 %.

L'orientation du filon, la paragenèse minérale et l'analyse chimique de la barite sont trois arguments de poids pour établir un lien génétique entre ce filon et les autres filons observés.

Malheureusement, aucune extension de ce filon n'a été signalée dans la littérature ni observée sur le terrain.

6.6. Autres observations

Bornain (1999) signale également des observations dans une galerie d'essai d'une douzaine de mètres de longueur le long du Klangbaach. Il signale un filon d'argile contenant des traces de barium à l'analyse chimique (fig. 6.8).

En mai 2001 suite aux travaux de réouverture de la mine, nous avons eu l'opportunité de cartographier et de décrire la galerie d'exhaure depuis le lit du Klangbaach jusqu'à la mine (niveau 3).

En divers endroits, de fins filons de barite, d'ankérite, de quartz ou d'argile ont été croisés. Aucun pointement minéralisé de plus grande envergure n'a été repéré. On notera que la stratification est quasi constante avec des valeurs de pendage oscillant entre 48° et 60° vers 340°N.

Quelques failles de pendage moyen 50° vers 344°N ont été cartographiées. Leur rejet n'a pu être évalué.

7. Minéralogie et morphologie cristalline

Le premier inventaire minéralogique succinct du site est attribué à Ronchesne (1932), ensuite Defleurs (1969), Staudt (1977), Schreurs (1981) et Nix (1985) ont présenté dans leurs travaux de fin d'étude, les principaux minéraux primaires et quelques minéraux secondaires, avec des observations microscopiques et des analyses pour étayer leurs identifications. Le premier essai d'inventaire exhaustif a été réalisé par Krontz et Heinen (1993). Nous vous présentons, dans ce chapitre, l'état actuel de l'inventaire des espèces. Pour chacune de celles-ci nous essayons de fournir le maximum d'information (morphologie, composition chimique, type d'identification, ...) et de détailler les variabilités morphologiques et chimiques en fonction du lieu d'observation. Ces résultats se basent sur la littérature, sur les travaux du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg et sur le travail de fin d'étude de Bornain (1999) réalisé en collaboration avec le musée.

7.1. Inventaire minéralogique

La liste actuelle des espèces minéralogiques recensées pour le site de la mine de Stolzenbourg et pour les minéralisations environnantes

Tableau 7.1: Liste alphabétique des minéraux de la minéralisation en cuivre de Stolzenbourg: 38 espèces dont 27 confirmées (les espèces en italique ne sont pas confirmées).

Ankérite	Aragonite	Barytine	Brochantite
Calcite	Chalcanthite	Chalcopryrite	<i>Chrysocolle?</i>
<i>Copiapite?</i>	Covellite	Cubanite	Cuivre natif
Cuprite	Digénite	Dolomite	<i>Ferrohexahydrite?</i>
Galène	Goethite	Gypse	<i>Halotrichite?</i>
Hématite	Hydrozincite	<i>Jarosite?</i>	Kaolinite
Malachite	Marcasite	Pyrite	Pyrolusite
Quartz	Ranciéite	<i>Rhomboclase?</i>	Romanéchite
Sidérite	<i>Sidérotile?</i>	<i>Szomolnokite?</i>	Sphalérite
<i>Titanite?</i>	<i>Torodokite?</i>		

Tableau 7.2.: Liste des minéraux classés par groupes paragénétiques.

Minéraux de la gangue	Minerai	Minéraux de céméntation	Minéraux néoformés
Barytine	Chalcopyrite	Covellite	Aragonite
Calcite	Cubanite	Digénite	Brochantite
Dolomite	Galène		Chalcanthite
Kaolinite	Pyrite		<i>Chrysocolle?</i>
Quartz	Sphalérite		<i>Copiapite?</i>
Sidérite			Cuprite
			<i>Ferrohexahydrite?</i>
			Goethite
			Gypse
			<i>Halotrichite?</i>
			Hématite
			Hydrozincite
			<i>Jarosite?</i>
			Malachite
			Marcasite
			Pyrolusite
			Ranciéite
			<i>Rhomboclase?</i>
			Romanéchite
			<i>Sidérotile?</i>
			<i>Szomolnokite?</i>
			<i>Titanite?</i>
			<i>Todorokite?</i>

est reprise au tableau 7.1. On dénombre à ce jour trente huit espèces dont trente sont confirmées par diffraction des rayons X ou par microanalyse (microsonde électronique ou microscope électronique à balayage avec EDAX). Les espèces non confirmées ont été décrites par nos collaborateurs ou par nous même uniquement sur base d'observations en microscopie optique. Elles sont donc citées ici uniquement à titre de renseignement et attendent confirmation.

Cette liste peut être subdivisée en quatre groupes en fonction de leur type de formation ou de leur utilité. Ce classement vous est présenté au tableau 7.2. Les minéraux qui se forment en même temps que le minerai mais qui ne sont pas rentables économiquement seront appelés '*minéraux de la gangue*'; les minéraux économiques sont rassemblés sous le terme de '*minerai*', ici il s'agit d'un minerai sulfuré; les minéraux qui se forment dans la zone de battement de la nappe aquifère, sont dits '*minéraux de céméntation*' et les '*minéraux néoformés*' sont le

résultat de l'altération des minéraux préexistants (ou primaires) par l'oxygène contenu dans l'air ou dans l'eau. Ces subdivisions correspondent également à des étapes de formation. Ces étapes seront décrites plus loin dans ce chapitre.

7.2. Descriptif minéralogique et morphologique des espèces confirmées

7.2.1. «Ankérite», $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg},\text{Mn})(\text{CO}_3)_2$

Des générations de collectionneurs et même de chercheurs ont donné au cristaux rhomboédriques à faces courbes, blancs ou bruns, que l'on trouve à Stolzenbourg, le nom d'ankérite (fig. 7.1.).

Il s'avère, en regardant de près les analyses, qu'il s'agit d'une dolomite. Certes, elle a une forte teneur en fer, mais les analyses restent dans le domaine de la dolomite (fig. 7.2). La description



Fig. 7.1: «Ankérite» de Stolzenbourg.

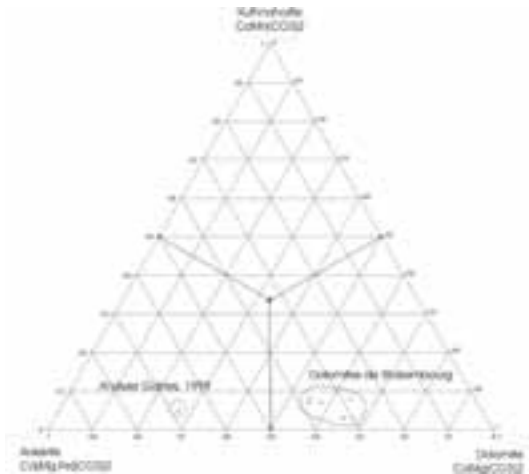


Fig. 7.2: Diagramme ternaire dolomite - ankérite - kutnahorite reprenant les analyses de Ronchesne (1932), Schreurs (1981), Gaines (1997). Les analyses de Ronchesne et Schreurs tombent dans le domaine de la dolomite, tandis que celle de Gaines est bien une ankérite.



Fig. 7.3: a. Aragonite, gerbe de cristaux aciculaires de 1 cm. Photo: ©MnhnL.

b. Aragonite, cristaux aciculaires de 12 mm. Photo: © MnhnL.

précise du minéral le plus collectionné à Stolzenbourg est donc faite sous le terme dolomite.

7.2.2. Aragonite, CaCO_3

Ce minéral néoformé se présente sous la forme de cristaux aciculaires à pyramides fortement aiguës et pseudo-hexagonales, résultant de macles

polysynthétiques selon [001] (fig. 7.3.a et 7.3.b). La taille moyenne des cristaux est de 1 cm. De couleur blanche et souvent translucide, il se trouve dans des cavités du minerai fortement altéré tapissées de goéthite et de gypse. Les meilleurs échantillons ont été trouvés sur le site de la mine.

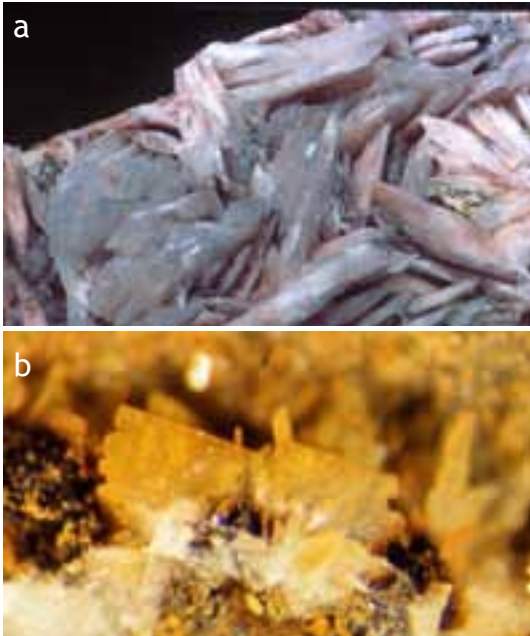


Fig. 7.4.: a. Barite de Bivels, cristal de 1 cm, specimen ZB001 © MnhnL.
 b. Barite de la mine, Niveau 3, cristal de 8 mm. Photo: © MnhnL.

7.2.3. Barytine, BaSO₄

Elle se présente en agrégats massifs de cristaux en tablettes de 1 à 2 cm et de couleur blanche légèrement rosée (fig. 7.4.a et 7.4.b). Ce minéral est courant pour les sites de Bivels, Fléssen et Riedgerbësch; pratiquement absent du site de la mine. L'étude goniométrique d'un échantillon prélevé par J. Bintz dans les galeries de la Centrale hydro-électrique de l'Our (SEO) lors de leur percement, nous permet de vous présenter à la figure 7.5, la forme cristalline de cette barytine.

Tableau 7.3: Analyses chimiques des barytines de Bivels, Fléssen et Riedgerbësch.

Analyses	%pds	%pds	%pds
	Bivels	Fléssen	Riedgerbësch
BaSO ₄	90,20	85,80	91,90
SrSO ₄	5,61	4,65	3,03
SiO ₂	0,35	6,54	2,18
Al ₂ O ₃	0,18	0,91	1,11
Fe ₂ O ₃	0,04	0,42	0,46
autres	2,97	1,23	0,95
Total	99,35	99,55	99,63

La Barytine de Bivels

Caverne SEO (ZB001))

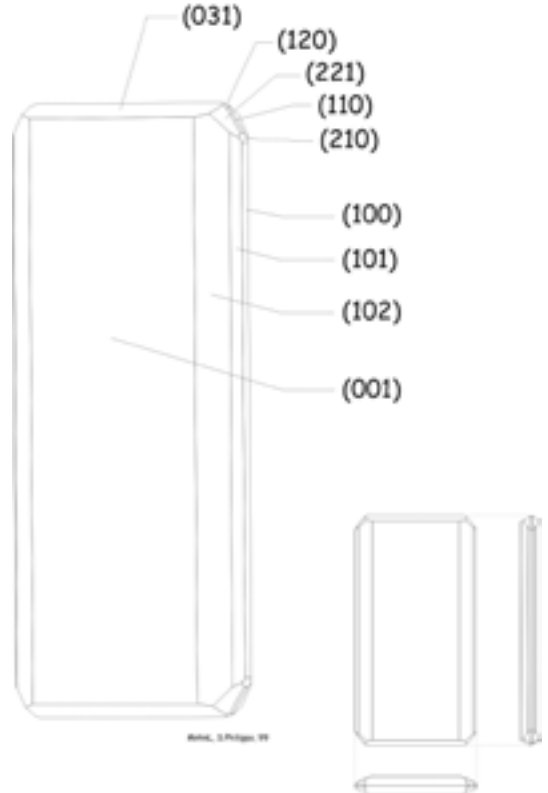


Fig. 7.5: Barite de Bivels.

Des analyses en fluorescence X ont été réalisées sur des échantillons de barytine de Bivels, du Fléssen et du Riedgerbësch (tableau 7.3). Ces analyses révèlent des teneurs anormalement élevées en strontium (SrSO₄ compris entre 3,03 et 5,61%)

7.2.4. Brochantite, Cu₄SO₄(OH)₆

Citée pour la première fois en 1993 par Kronz G. et Heinen G., ce minéral en cristaux tabulaires de 1 mm et de couleur vert clair est systématiquement observé en relation avec la malachite (fig. 7.6). Depuis sa présence a été confirmée par diffraction des rayons x et des photographies au microscope électronique ont pu être réalisées (fig. 7.7 et 7.8). Il est à noter que ce minéral se forme dans la zone



Fig. 7.6: Brochantite et malachite de Fléssen, cristaux en boules de 3 mm

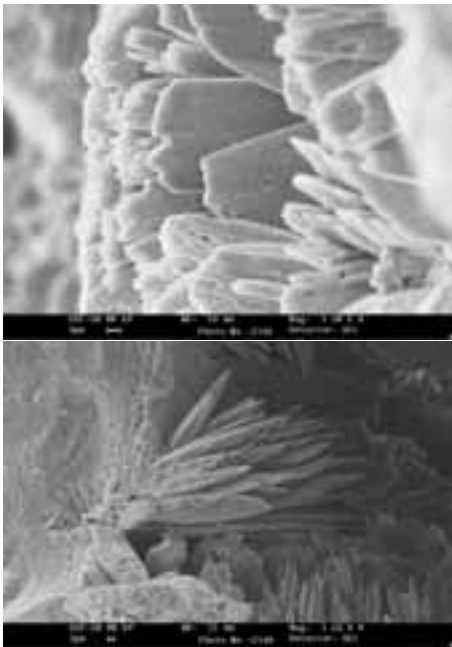


Fig. 7.7 et 7.8: Photos au MEB de la Brochantite de Fléssen, cristaux de 20 µm. Photo: © MnhnL.



Fig. 7.9: Chalcopryrite de la mine, cristaux de 2 mm. Photo © MnhnL.

d'oxydation des gisements de cuivre sous des conditions de faible acidité.

7.2.5. Calcite, CaCO_3

Présente essentiellement en association avec la sidérite et la dolomite, elle se présente en cristaux rhomboédriques simples de quelques millimètres maximums et de couleur blanche. Dans l'association sidérite - dolomite - calcite, c'est ce minéral qui est le moins fréquent.

7.2.6. Chalcanthite, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Observé uniquement sur le site de la mine et confirmé par diffraction des rayons x (analyse Stolz5), ce minéral se présente en veinules d'un bleu profond dans le minerai altéré.

7.2.7. Minéraux du groupe de la chalcocite, Cu_{2-x}S

Détectés sur le site de la mine et du Fléssen et observé en détail sur des échantillons de minerai de la galerie du Riedgerbësch, les minéraux de ce groupe, de couleur bleu - gris métalliques, se présentent en veinules traversant le minerai de cuivre massif. Des analyses à l'aide de la microsonde électronique nous ont permis de démontrer que nous sommes en fait en présence de digénite $\text{Cu}_{1,80}\text{S}$. Ce minéral a également été confirmé par diffraction de rayons x (analyse Born26) à Fléssen. Les analyses de ces échantillons sont présentées au point 7.3 de ce chapitre. Ce sont des minéraux typiques de la zone de cimentation

7.2.8. Chalcopryrite, CuFeS_2

Ce minéral est le principal constituant du minerai de cuivre de la région. Souvent massif, il ne se présente que rarement en cristaux tétraédriques idiomorphes. La taille des cristaux ne dépasse pas les 2 millimètres (fig. 7.9). De couleur jaune or, il prend rapidement des teintes d'iridescente en contact avec l'eau et l'air ambiant.

L'étude goniométrique de différents échantillons nous a permis de distinguer trois types de tronçatures du sphénoèdre de base {112}, soit selon {101}, soit selon {-112} ou soit selon {136} (figure 7.10).

Des études microscopiques nous ont permis de confirmer les observations de Schreurs (1981) montrant que la chalcopryrite se forme autour d'un noyau de pyrite. Les figures 7.11 et 7.12

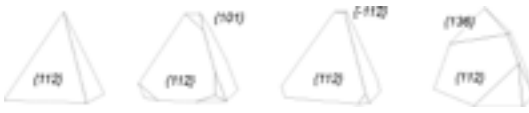


Fig. 7.10: Variation de l'habitus de la chalcopryite.

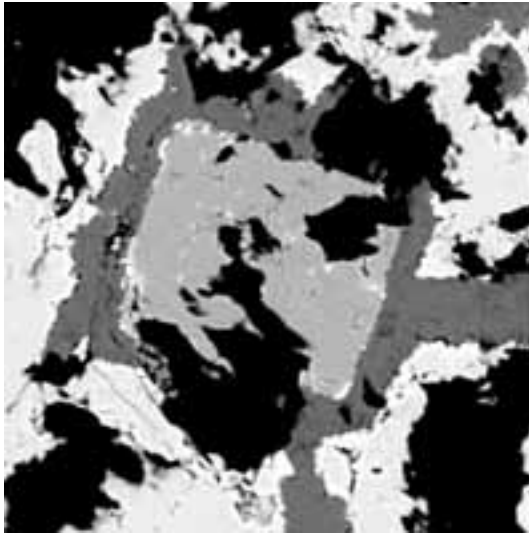


Fig. 7.11: Chalcopryite avec coeur de pyrite. Photo au microscope pétrographique. Arête du cube: 2 mm.

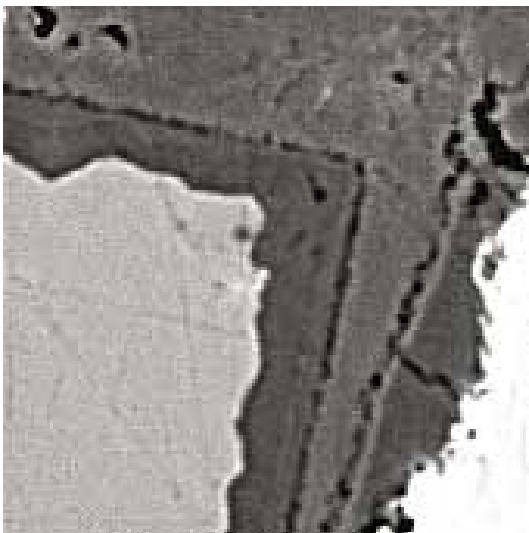


Fig. 7.12: Détail de la Fig. 7.11.

nous montrent bien cette relation. Defleurs (1969) signale, sur base d'analyses spectrographiques, que la chalcopryite de Stolzenbourg est exempte

de quantités importantes d'éléments en traces. Tous ses résultats sont inférieurs à 10 ppm. Cependant, des analyses à la microsonde électronique des chalcopryites du Riedgerbësch ont montré la présence de traces de plomb et de zinc en substitution du cuivre et de traces d'arsenic en substitution du soufre.

7.2.9. Covellite, CuS

D'un bleu indigo et se présentant en veinules traversant le minerai de cuivre massif, il est associé aux autres minéraux de la zone secondaire d'enrichissement (zone de cimentation); les minéraux du groupe de la chalcocite. Ce minéral a été identifié par diffraction des rayons x sur des échantillons de Flëssen.

7.2.10. Cubanite, CuFe₂S₃

Defleurs J.C. (1969) indique qu'elle n'est pas courante. Il en est à ce jour le seul observateur. Il décrit les spécimens observés sous la forme d'agrégats irréguliers dans la chalcopryite ou d'une petite latte de 0,05 mm jaune bronze dans une cassure de la chalcopryite. Il argumente son observation par des mesures au microscope optique et des essais de microdureté par rapport à la chalcopryite. Il serait intéressant de vérifier la composition de ce minéral par microsonde électronique. La présence de cette occurrence à Stolzenbourg est à prendre avec précaution.

7.2.11. Cuivre natif, Cu

Suspecté depuis longtemps par les minéralogistes amateurs du Luxembourg, ce minéral a pu être confirmé grâce au microscope électronique de l'Université du Luxembourg par analyse EDAX. La figure 7.13 présente une photographie d'un cristal de cuivre natif, allongé, de 17 µm, et le spectre d'analyse EDAX montrant que seules les raies du cuivre sont détectées. Une analyse par diffraction des rayons x confirme également la présence de cette espèce.

7.2.12. Cuprite, Cu₂O

Signalé pour la première fois par Gust Pick (communication personnelle), ce minéral octaédrique d'un rouge cerise profond a été confirmé

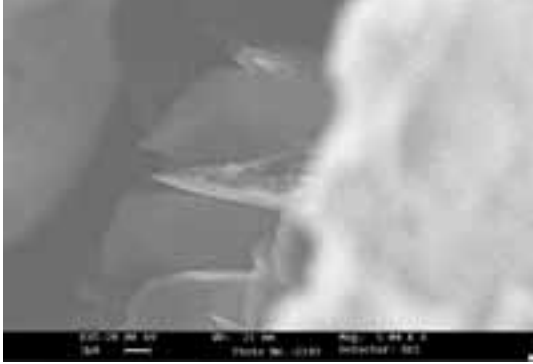
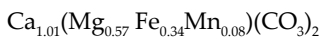


Fig.7.13: Cristal de cuivre natif de 15 µm au MEB. Photo: © MnhnL.

par diffraction des rayons x. La taille des cristaux est de l'ordre de 0.05 mm (fig. 7.14).

7.2.13. Dolomite, $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})(\text{CO}_3)_2$

Anciennement appelée 'ankérite', elle constitue le principal minéral de la gangue sur le site de la mine. Elle se présente sous la forme de cristaux rhomboédriques automorphes à faces courbes (fig. 7.1), de 1 à 3 cm en moyenne, souvent agglomérés en amas centimétriques à pluridécimétriques. La couleur peut varier du blanc au brun en passant par des teintes jaunes en fonction de l'état d'oxydation. P. Ronchesne (1932) en donne la première analyse (tableau 7.4) et calcule la formule suivante:



J. Schreurs (1981) réalise une série de 5 analyses reprises dans le tableau 7.4; la formule moyenne alors calculée est la suivante:

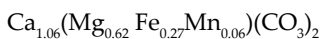


Tableau 7.4: Analyses chimiques des 'ankérites' (dolomites) de Stolzenbourg réalisées par Ronchesne (1932) et par Schreurs (1981).

Analyses	%pds					
	Ronchesne	Schreurs 1	Schreurs 2	Schreurs 3	Schreurs 4	Schreurs 5
CaCO ₃	51,34	52,02	55,05	56,43	51,63	49,62
MgCO ₃	24,50	25,04	28,42	27,29	24,44	27,01
FeCO ₃	20,17	20,00	11,80	11,35	18,75	17,04
MnCO ₃	4,66	4,31	4,73	4,30	5,36	6,32
Total	100,67	101,37	100,00	99,37	100,18	99,99

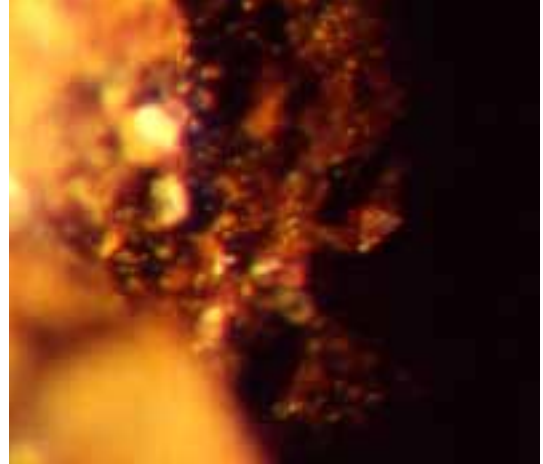


Fig. 7.14: Cuprite, cristaux octaédriques de 0,05 mm. Photo: © MnhnL.

Si nous reportons ces six analyses dans un diagramme ternaire ankérite - dolomite - kutnahorite (fig. 7.2), nous constatons qu'elles tombent d'une manière assez groupées dans le domaine de la dolomite. En ajoutant dans ce diagramme la formule de référence internationale de l'ankérite donnée par Gaines *et al.* (1997), nous pouvons voir que le minéral décrit pendant tant d'années comme ankérite à Stolzenbourg est en fait une dolomite enrichie en fer.

Elle est souvent accompagnée d'autres carbonates tels que la calcite et la sidérite.

7.2.14. Galène, PbS

Observée sur un seul échantillon, ce minéral se présente en association avec la chalcopryrite et le quartz. Un seul cristal de forme cubo-octaédrique de 2 mm est présent sur l'échantillon, à côté de

cristaux cassés de couleur noire à éclat métallique dont les clivages parfaits selon {100} sont très bien visibles. Il est à noter que nous avons décelé la présence de chalcopryrite tant sur que dans les cristaux de galène. Une légère altération du cristal automorphe entraîne le recouvrement partiel de celui-ci par un encroûtement blanchâtre, probablement de la cérusite.

7.2.15. Goethite, FeOOH

Signalée pour la première fois par P. Nix en 1985, ce minéral en encroûtements brun - rouge à aspect vitreux se retrouve principalement dans les cavités de minerai altéré.

7.2.16. Gypse, CaSO₄·2H₂O

En association avec l'aragonite, il se présente en cristaux aciculaires incolores et transparents dont l'habitus est défini par {016} et {310}. Une troncation supplémentaire apparaît parfois selon {180} (fig. 7.15.). La figure 7.16 montre un cristal avec la troncation selon {180} parsemé de rosettes d'hématite. Le minéral est confirmé par diffraction des rayons x (analyse Stolz1a).

7.2.17. Hématite, Fe₂O₃

Vous venez de voir cette espèce en association avec le gypse sur la figure 7.16. Ce minéral présente un aspect micacé, en plaquettes très fines assemblées en rosettes, formant des boules gris - brun à éclat submétallique. Cette espèce a également été confirmée par diffraction des rayons x.

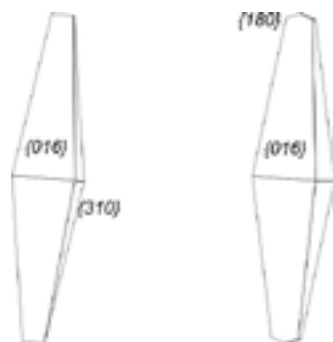


Fig. 7.15: Variation d'habitus cristallin du Gypse.

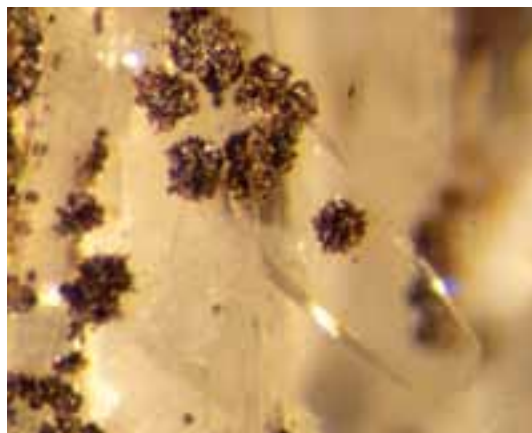


Fig. 7.16: Cristal de gypse de 4 mm parsemé de rosettes d'hématite. Photo: © MnhnL.

7.2.18. Hydrozincite, Zn₅(CO₃)₂(OH)₆

Signalé pour la première fois par Kronz et Heinen (1993), et vérifié par le Dr G. Müller par diffraction des rayons x en 1988. Ce minéral se présente sous la forme d'encroûtements blancs.

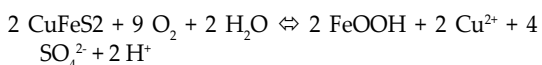
7.2.19. Kaolinite, Al₂Si₂O₅(OH)₄

Trouvé dans les haldes de la mine, ce minéral de la famille des phyllosilicates est probablement le résultat de l'altération des schistes encaissant la minéralisation.

7.2.20. Malachite, Cu₂(CO₃)(OH)₂

Minéral secondaire le plus commun des gisements de cuivre, à Stolzenbourg, c'est également le principal minéral de la zone d'altération du filon. Elle se présente en cristaux prismatiques allongés d'un vert intense et de 1 à 2 mm de long (fig. 7.17). Ce minéral a été confirmé par diffraction des rayons x à Fléssén (analyse SP4). Souvent, les cristallites se regroupent en rosettes (fig. 7.18) pour former des boules (concrétions mamellonnaires). Elle est associée à la brochantite, la cuprite, la goethite et l'hématite et provient de l'altération (oxydation) de la chalcopryrite. Cette association et le processus d'altération peuvent être décrits par les réactions d'oxydoréduction suivantes:

① altération de la chalcopryrite, formation de la goethite et libération d'ions Cu²⁺ et sulfates



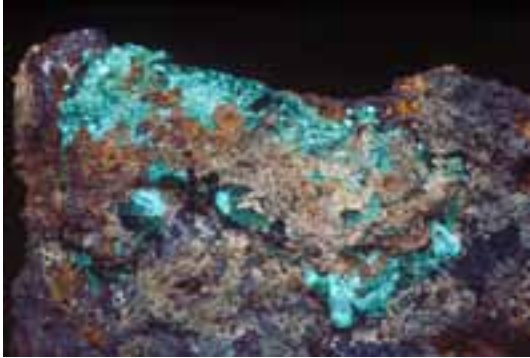


Fig. 7.17: Malachite fibreuse de Flésses, taille de l'échantillon 5 cm. Photo © MnhnL.

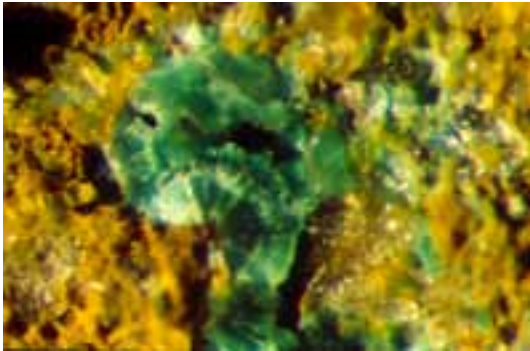
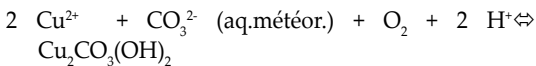
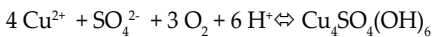


Fig. 7.18: Malachite fibreuse de Flésses, taille des cristaux 6 mm. Photo: © MnhnL.

② formation de la malachite



③ formation de la brochantite



On notera que:

- dans la réaction ①, la pression partielle en oxygène ($p\text{O}_2$) est plus élevée si on forme de la goéthite au lieu de l'hématite et la solution finale est plus acide.
- la formation de la malachite (réaction ②), est favorisée par rapport à l'azurite si le milieu est dilué et si la $p\text{CO}_2$ est basse (Guilbert et Park, 1986).
- les conditions de formation de la malachite sont un pH variant entre 6 et 8½ et une $p\text{O}_2$ oscillant entre

0.2 et 0.8 atmosphères (Guilbert et Park, 1986).

- la brochantite se forme en conditions d'acidité faible (pH 5-6) et une $p\text{O}_2$ entre 0.25 et 0.9 atmosphères (Guilbert et Park, 1986).

7.2.21. Marcasite, FeS_2

Ce minéral accessoire se présente sous la forme de concrétions aplaties de couleur jaune - grise. Cette espèce a également été confirmée par diffraction des rayons x.

7.2.22. Pyrite, FeS_2

Souvent inclus dans la chalcopyrite (fig. 7.11), ce minéral se présente parfois en cristaux automorphes, soit sous la forme de cubes, soit de dodécaèdres pentagonaux {102} (pyritoèdre) de couleur jaune (fig. 7.19 et 7.20). On notera que nous avons également eu l'occasion d'observer des cubes sur lesquels apparaissent les faces du dodécaèdre {011}, induisant ainsi une légère troncation des arêtes.

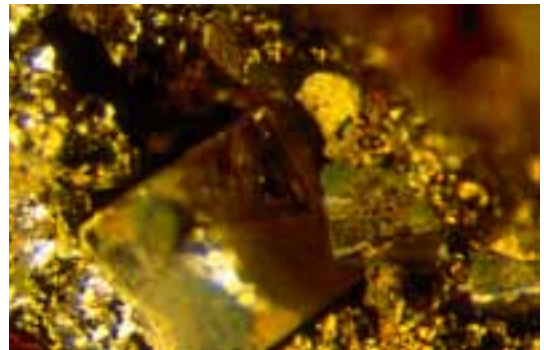


Fig. 7.19: Pyrite, cristal cubique de 12 mm. Photo: © MnhnL.

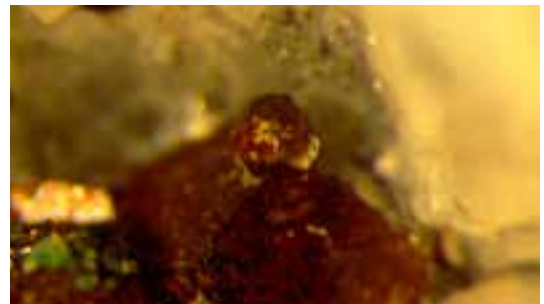


Fig. 7.20: Pyrite, cristal dodécaédrique de 3 mm. Photo: © MnhnL.

De la pyrite framboïdale a également été observée par P. Nix (1985). Les analyses du tableau 7.6 réalisées sur les pyrites du Riedgerbësch montrent la présence de traces de cuivre et de plomb en substitution du fer et des traces d'arsenic en substitution du soufre.

7.2.23. Pyrolusite, MnO_2

Cet oxyde de manganèse de couleur noire se présente sous la forme de dendrites. Il se forme dans les mêmes conditions que la goethite, c'est-à-dire en milieu d'altération fortement oxydant. Cette espèce a été confirmée par diffraction des rayons x.

7.2.24. Quartz, SiO_2

On peut dire que le quartz est le minéral le plus courant à Stolzenbourg après la dolomite. Son habitus dit en 'quartz diamant' est majoritaire (fig. 7.21). C'est un quartz trapus avec un faible développement selon l'axe c , incolore et dont les spécimens dépassant 1 cm ne sont pas rares. Sur le site de la mine, il se présente souvent 'planté' sur la dolomite. Dans les galeries de Flëssen et du Riedgerbësch, il tapisse les éponges de filons observés de manière palissadique. Une seconde génération de quartz beaucoup plus petits (maximum 0,5 mm) ont été observés dans la galerie du Flëssen. Ils sont plus allongés, incolores et sont dits 'à fenêtres' (les arêtes du cristal sont beaucoup plus développées que les faces. Ces dernières apparaissent donc en creux et l'ensemble évoque alors la forme d'une fenêtre ouverte) (fig. 7.22).



Fig. 7.21: Quartz diamant de Stolzenbourg, cristal de 4 mm. Photo: © Mnhnl.

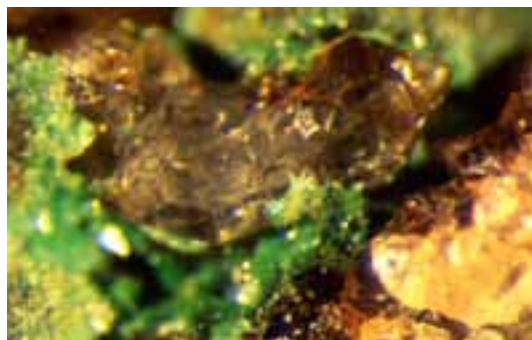


Fig. 7.22: Quartz fenêtre de Flëssen, cristal de 6 mm. Photo: © Mnhnl.

7.2.25. Ranciéite, $(Ca, Mn^{2+})Mn^{4+}_4O_9 \cdot 3H_2O$

Minéral de néoformation associé à la romanéchite et se présentant sous une forme semblable, mis en évidence par Gust Pick et vérifié par le Dr G. Müller en 1988 (analyse par diffraction de rayons x).

7.2.26. Romanéchite, $(Ba, H_2O)(Mn^{4+}, Mn^{3+})_5O_{10}$

Il s'agit d'un minéral néoformé se présentant en encroûtements gris - noir qui se forment en même temps que la goethite et la pyrolusite. Il a été mis en évidence par diffraction des rayons x.

7.2.27. Sidérite, $FeCO_3$

Après la dolomite, c'est le carbonate de l'association calcite - dolomite - sidérite le plus courant. Elle se présente sous la forme de rhomboèdres à faces courbes décrivant une crête de coq. De couleur brun foncé ou noir, elle est souvent pseudomorphosée par des oxydes de fer.

7.2.28. Sphalérite, $(Zn, Fe)S$

Minéral primaire du minerai peu courant, il se présente sous sa forme tétraédrique traditionnelle (fig. 7.23). Il est de couleur noir. L'étude goniométrique de différents échantillons nous a permis de distinguer que hormis la forme tétraédrique simple, des troncatures selon $\{101\}$ et $\{-111\}$ sont possibles (fig. 7.24).

Le seul minéral dérivé par néoformation de la sphalérite est l'hydrozincite.

Tableau 7.5: Analyses microsonde de la chalcoppyrite du Riedgerbèsch (analyses en pourcentage poids).

n° du point analysé	S	Fe	Cu	As	Pb
2	34,98	29,83	35,39	0,00	0,13
4	34,70	29,60	35,72	0,02	0,00
6	35,34	29,87	35,53	0,01	0,00
8	34,54	29,89	35,28	0,03	0,08
9	34,94	28,64	34,76	0,01	0,00
18	33,38	27,23	33,89	0,02	0,00
19	34,60	29,62	35,19	0,03	0,01



Fig. 7.23: Sphalérite, cristaux de 3 mm, inclus dans le Dolomite. Photo: © Mhnl.

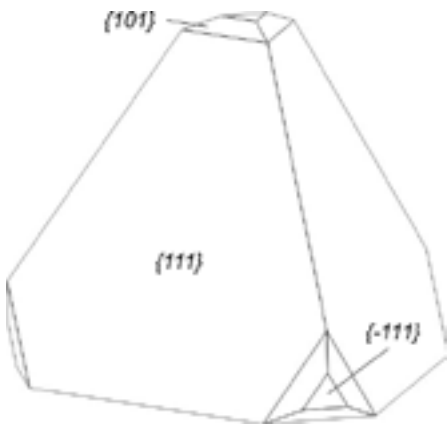


Fig. 7.24: Habitus le plus courant de la Sphalérite de Stolzenbourg.

7.3. Analyse approfondie des sulfures du Riedgerbèsch

7.3.1. La chalcoppyrite

Sept points d'analyses par microsonde électronique ont été réalisés pour la chalcoppyrite. Ces résultats sont présentés au tableau 7.5.

A partir de ces analyses, les formules chimiques des chalcoppyrites peuvent être recalculées, dans lesquelles on voit qu'une légère substitution du cuivre est possible par le plomb et une légère substitution du soufre par l'arsenic:

point d'analyse 2 $(\text{Cu}_{99,89}\text{Pb}_{0,11})\text{FeS}_2$

point d'analyse 4 $\text{CuFe}(\text{S}_{99,98}\text{As}_{0,02})_2$

point d'analyse 6 $\text{CuFe}(\text{S}_{99,99}\text{As}_{0,01})_2$

point d'analyse 8 $(\text{Cu}_{99,91}\text{Zn}_{0,02}\text{Pb}_{0,07})\text{Fe}(\text{S}_{99,96}\text{As}_{0,04})_2$

point d'analyse 9 $\text{CuFe}(\text{S}_{99,99}\text{As}_{0,01})_2$

point d'analyse 18 $\text{CuFe}(\text{S}_{99,98}\text{As}_{0,02})_2$

point d'analyse 19 $(\text{Cu}_{99,99}\text{Pb}_{0,01})\text{Fe}(\text{S}_{99,96}\text{As}_{0,04})_2$

7.3.2. La pyrite

Sept points d'analyses ont également été réalisés dans les pyrites. Ces résultats sont donnés au tableau 7.6.

Comme pour les chalcoppyrites, les analyses nous permettent de recalculer les formules des pyrites; dans lesquelles on voit qu'une légère substitution du fer est possible par le cuivre et le plomb et une légère substitution du soufre par l'arsenic:

Tableau 7.6: Analyses microsonde de la pyrite du Riedgerbèsch (analyses en pourcentage poids).

n° du point analysé	S	Fe	Cu	As	Pb
1	53,90	47,18	0,02	0,03	0,01
3	53,73	46,52	0,10	0,00	0,05
5	53,48	46,98	0,00	0,02	0,00
7	53,67	46,49	0,00	0,03	0,00
10	53,28	46,41	0,02	0,05	0,03
14	53,43	46,27	0,10	0,00	0,09
22	53,98	46,81	0,15	0,02	0,00

- point d'analyse 1 $(Fe_{99,96}Cu_{0,03}Pb_{0,01})(S_{99,98}As_{0,02})_2$
- point d'analyse 3 $(Fe_{99,78}Cu_{0,19}Pb_{0,03})S_2$
- point d'analyse 5 $Fe(S_{99,98}As_{0,02})_2$
- point d'analyse 7 $Fe(S_{99,97}As_{0,03})_2$
- point d'analyse 10 $(Fe_{99,95}Cu_{0,03}Pb_{0,02})(S_{99,96}As_{0,04})_2$
- point d'analyse 14 $(Fe_{99,77}Cu_{0,18}Pb_{0,05})S_2$
- point d'analyse 22 $(Fe_{99,71}Cu_{0,29})(S_{99,98}As_{0,02})_2$

7.3.3. Les minéraux du groupe de la chalcocite

Grâce aux analyses microsonde, hormis la digénite, mise en évidence par diffraction des rayons x, nous avons pu mettre en évidence deux autres espèces minérales appartenant au groupe de la chalcocite (tableau 7.7).

Sur base de ces analyses nous avons pu recalculer la formule chimique et définir que pour ces points d'analyses sont bien des minéraux du groupe de la chalcocite. Toutefois, les impuretés en fer, sans doute liées à la présence de pyrite ou de chalcopyrite, nous empêchent de calculer une formule stoechiométrique plus précise.

7.3.4. Synthèse sur les sulfures du Riedgerbësch

La figure 7.25 nous permet de résumer toutes les données acquises par ces analyses à la microsonde électronique. Les deux photos de cette figure nous montrent que la chalcopyrite se développe à partir d'un noyau de pyrite. Autour de ces cœurs de pyrite se mettent en place, lors des processus de céméntation, des couronnes et des veinules de recristallisation recoupant la chalcopyrite mais n'affectant que très peu la pyrite. Celles-ci sont

Tableau 7.7: Analyses microsonde des minéraux du groupe de la chalcocite (à gauche: analyses brutes en pourcentage poids - à droite, résultats recalculés en pourcentage atomique).

n° du point analysé	S	Fe	Cu	S	Fe	Cu
11	27,15	3,96	63,59	44,1	3,7	52,2
12	26,10	3,87	64,07	43,0	3,7	53,3

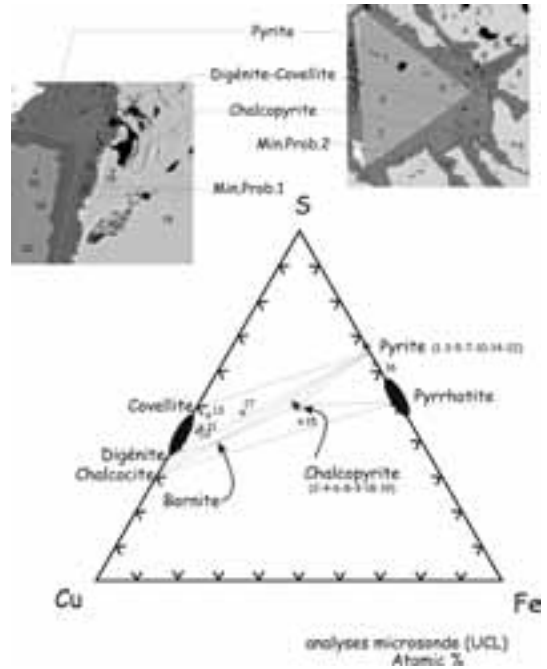


Fig. 7.25: Diagramme ternaire Cu - Fe - S reprenant les différents points d'analyse microsonde et photos localisant ces points d'analyse.

constituées par les minéraux de la famille de la chalcocite (notamment digénite) et par de la covellite.

Nous pouvons donc déduire, sur base de ces photos, les étapes de cristallisation de ces sulfures: la pyrite se forme en premier; la chalcopyrite se sert de la pyrite comme noyau de cristallisation; les minéraux de céméntation se forment au détriment (par altération) de la chalcopyrite.

Tous les résultats d'analyse sont pointés sur le diagramme ternaire Cu - Fe - S de la figure 7.25. Ce diagramme permet de remarquer de manière graphique que lors des étapes de cristallisation décrites ci-dessus, l'enrichissement en cuivre est continu.

7.4. Paragenèses minérales

Les séquences paragenétiques des différents sites étudiés pour la minéralisation en cuivre de Stolzenbourg sont décrites dans ce chapitre.

Elles se basent sur les observations de relations entre les minéraux réalisées au Musée national d'histoire naturelle du Luxembourg et au travail de fin d'étude de Bornain (1999). Ces données sont comparées aux travaux de Defleurs (1969), Staudt (1977) et Nix (1985) pour le site de la mine et aux travaux de Schreurs (1981) pour le site du Fléssén.

Dans ces séquences, on parlera de minéraux primaires, de céméntation et supergènes. La figure 7.26 permet de donner une définition de ces termes dans le cas d'un filon minéralisé en cuivre comme c'est le cas à Stolzembourg.

Les minéraux primaires (quartz, sidérite, pyrite, chalcoppyrite, ...) sont les minéraux qui ont formé le filon à l'origine. Ceux-ci subsistent dans la partie située sous le niveau de la nappe aquifère. Les minéraux de céméntation se forment dans la zone de battement de la nappe aquifère. Ce sont des minéraux comme la covellite et la digénite. Les minéraux supergènes, parfois aussi appelés minéraux néoformés, se forment par oxydation des autres. On les trouve dans la zone supérieure du filon.

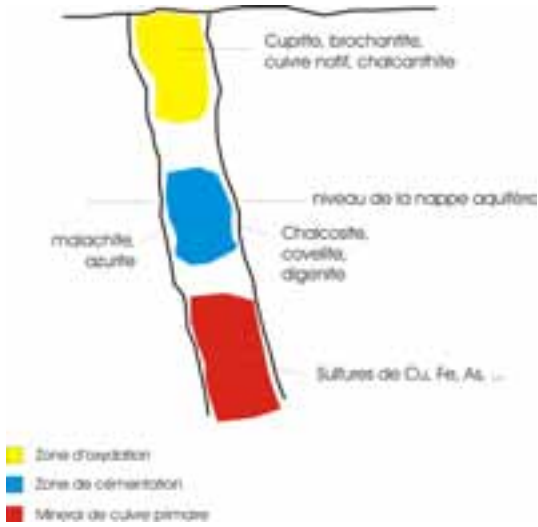


Fig. 7.26: Coupe schématique d'un filon minéralisé en cuivre et présentation des groupes de minéraux en fonction du taux d'oxydation.

7.4.1. Paragénèse du site de la mine

La séquence paragénétique tirée du mémoire de fin d'étude de Bornain (1999) est la plus complète. Elle reprend non seulement les minéraux primaires mais également les minéraux de la zone de céméntation et de la zone supergène. Les autres auteurs ne se sont attardés qu'à la séquence paragénétique des principaux minéraux primaires. La première remarque que l'on peut faire en regardant ces travaux est que tous les auteurs présentent des séquences paragénétiques différentes. Le seul fait sur lequel s'accordent les auteurs est l'antériorité de la pyrite sur la chalcoppyrite. En effet, chacun d'entre eux a constaté que la pyrite servait de noyau à la chalcoppyrite.

Defleurs (1969) présente une séquence des minéraux primaires en deux étapes basée sur deux générations différentes de pyrite donnant lieu à deux générations de chalcoppyrite (fig. 7.27). Sur cette figure, il ressort clairement pour Defleurs (1969), que les sulfures se forment avant les carbonates de la gangue. Ces conclusions se basent sur des études en lames minces. Hors nos observations mi-

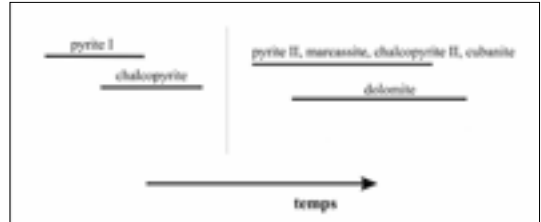


Fig. 7.27: Séquence paragénétique du site de la mine selon Defleurs (1969).

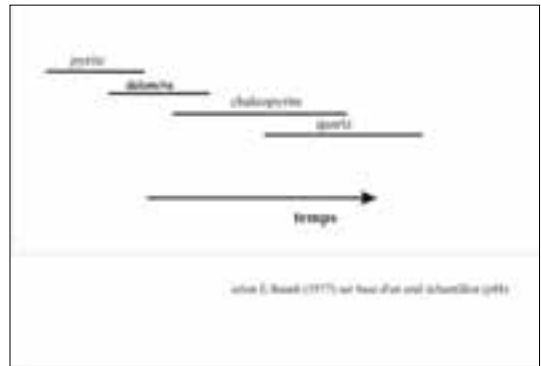


Fig. 7.28: Séquence paragénétique du site de la mine selon Staudt (1977).

croscopiques et macroscopiques montrent, dans la majorité des cas, une relation inverse. Staudt (1977) présente une séquence (fig. 7.28) basée sur l'étude d'un seul échantillon en lame mince. Il ne s'agit donc là que d'une observation ponctuelle sur base de laquelle il est inadmissible de tirer une conclusion. Toutefois nous intégrerons cette donnée dans notre propre séquence paragenétique.

Nix (1985) présente une séquence cohérente avec nos observations (fig. 7.29). Toutefois les photos sur base desquelles il conclut en l'observation d'une pseudomorphose de quartz en pyrite sont mal interprétées. Ces photos ne montrent rien de plus que des cristaux de pyrite dodécaédrique.

La séquence de Bornain (1999) nous paraît la plus cohérente avec nos observations. La figure 7.30 présente la séquence de Bornain (1999) légèrement modifiée notamment de manière à y intégrer l'observation ponctuelle de Staudt (1977) et la séquence de Nix (1985).

7.4.2. Paragenèse de la galerie du Fléssen

La séquence paragenétique présentée par Schreurs (1981) (fig. 7.31) s'intègre dans la séquence de Bornain (1999) (fig. 7.32) et comme cette dernière est plus complète, c'est celle-là que nous prendrons comme référence. Schreurs (1981) a étudié le minerai en section polie. Il observe de petits cubes de pyrite au centre des plages de chalcopryrite. Ces cubes étant enrobés d'un fin liseret qu'il signale être de la sphalérite. Hors nos propres observations montrent que s'il existe un fin liseret entre la pyrite et la chalcopryrite, il s'agit de digénite.

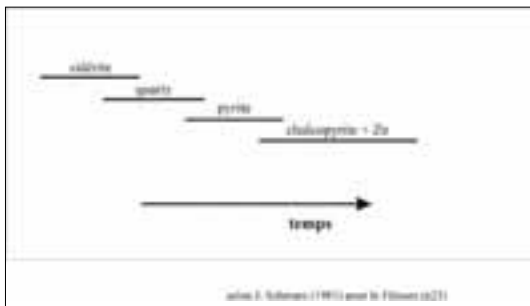


Fig. 7.31: Séquence paragenétique du site du Fléssen selon Schreurs (1981).

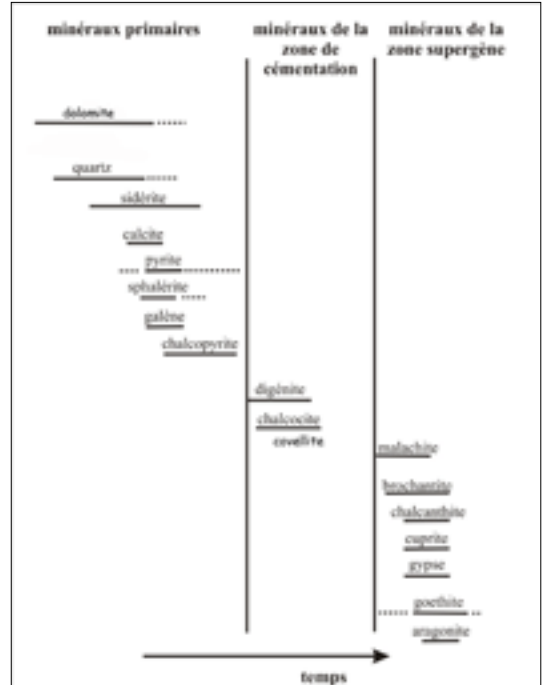


Fig. 7.32: Séquence paragenétique du site du Fléssen selon Bornain (1999).

Nous pouvons en comparant les figures 7.30 et 7.32, retenir trois grandes différences entre les sites de la Mine et du Fléssen:

- au Fléssen, le quartz est très probablement le premier minéral formé. Sa croissance de manière palissadique sur les épontes des filons nous conforte dans cette affirmation.
- les filons du Fléssen sont beaucoup moins riches en carbonates; de plus, la dolomite si abondante sur le site de la mine est absente de celui du Fléssen.
- à contrario de la dolomite, la barite est omniprésente sur le site du Fléssen et pratiquement absente du site de la Mine.

7.4.3. Paragenèse de la galerie du Riedgerbësch

Bornain (1999) étant le seul à avoir eu l'occasion d'étudier les filons du Riedgerbësch, la séquence paragenétique est donc tirée de son travail de fin d'étude (fig. 7.33). Cette séquence est fort semblable à celle du Fléssen (fig. 7.32).



Fig. 7.33: Séquence paragenétique du site du Riedgerbësch selon Bornain (1999).

Toutefois, il est à remarquer la présence de dolomite au Riedgerbësch. Concernant cette dolomite, Bornain (1999) fait les remarques suivantes:

‘L’ankérite en tant que telle n’a pas été observée. Il n’a été possible que d’étudier de l’ankérite pseudo-morphosée comme dit ci-dessus.

De plus aucune relation visible avec d’autres minéraux n’a été constatée. Il est donc supposé que ce minéral a subi la même paragenèse que l’ankérite visible dans la Mine de Cuivre de Stolzembourg.

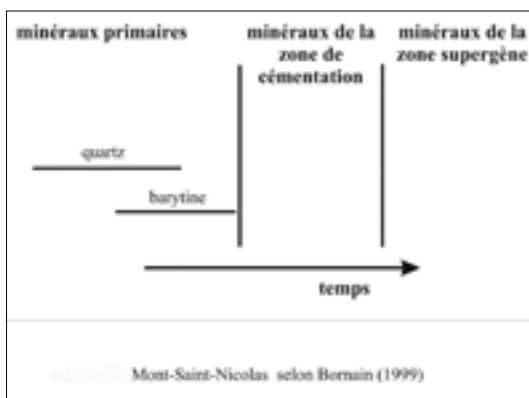


Fig. 7.34: Séquence paragenétique du site du Mont-Saint-Nicolas.

C’est uniquement sur ce point, que la position de la dolomite dans cette séquence paragenétique a été définie.’

La barite est également ici un minéral très important de cette séquence paragenétique.

7.4.4. Paragenèse de la galerie du Mont-Saint-Nicolas

A cet endroit, la minéralisation est très pauvre. En effet, seuls la barytine et le quartz ont pu être observés. La figure 7.34 présente toutefois cette séquence paragenétique fort simple.

Nous noterons que la barytine ne se présente plus sous la forme d’un filon mais plutôt en tâches disséminées plus ou moins de grande taille (elles varient de 5x5 à 20x20 centimètres) et que son état d’altération est très avancé. Il est également à remarquer qu’aucune phase de cimentation ou supergène n’a pu être mise en évidence.

7.4.5. Paragenèse du filon de Bivels

L’observation à l’affleurement de la barite de Bivels est assez délicate. Toutefois, de nombreux échantillons tombés en bas de falaise nous permettent de donner une séquence paragenétique pour ce site également (fig. 7.35).

Comme pour les filons de barite de Flëssen et du Riedgerbësch, les épontes sont recouvertes de quartz palissadique. La barite est ici la phase principale de la minéralisation.



Fig. 7.35: Séquence paragenétique du site de Bivels adaptée de Bornain (1999).

8. Discussion et interprétation géologique des données géophysiques

Les différentes méthodes géophysiques utilisées lors de cette étude sont brièvement décrites ci-dessous. Les cartes finales d'anomalies y seront présentées en même temps.

8.1. Les méthodes géophysiques utilisées

8.1.1. La gravimétrie

Ce levé gravimétrique s'est réalisé en collaboration avec Monsieur M. Everaerts de l'Observatoire Royal de Belgique. Il s'établit à une échelle

de plusieurs kilomètres carrés (superficie de la zone de l'ordre de 40 km²). Compte tenu à la fois de l'objectif structural du levé et des conditions de terrain (accessibilité de l'entièreté des points par le GPS et par le gravimètre), il a été établi 1 point/0.7 km², c'est-à-dire 69 points de mesure sur la superficie du terrain. Lors de ce levé gravimétrique, un gravimètre Scintrex CG3-M a été utilisé. Avec cet appareil relatif, seules les variations du champ de pesanteur entre deux points ou en un même point au cours du temps peuvent être mesurées. L'erreur instrumentale sur chaque mesure est de 10 µGal.

De plus, la précision des anomalies gravimétriques dépend de manière prépondérante de la précision de l'altitude de chaque point de mesure. A cet effet, le GPS différentiel Leica System 300 a été choisi.

La précision atteinte pour l'altitude est de l'ordre de 2 à 3 centimètres, c'est-à-dire une précision de 0.009 mGal. Le temps par point de mesure est de 1

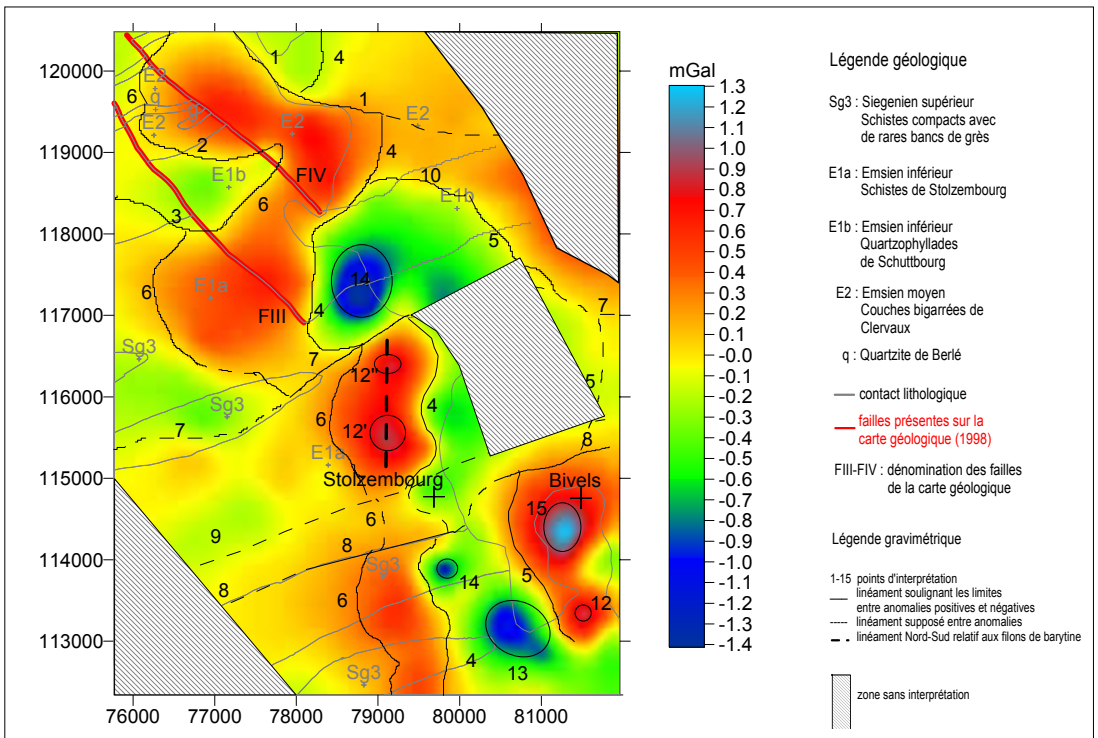


Fig. 8.1: Carte filtrée d'anomalies de Bouguer (filtre passe haut 5 km) superposée à la carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg (1998) sur laquelle les différents éléments de l'interprétation figurent. Densité de réduction 2.70 gr/cm³. Les coordonnées sont exprimées en Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation: krigeage. Le tracé de l'Our permet de resituer cette figure par rapport aux précédentes. Linéaments 1-7-8-9: faille ENE-OSO; 2-3-10: cont. litho; 4-5-6: faille NNO-SSE; 12-12'-12'': barytine; 13-14: sans relation avec la géologie; 15: dépôts néogènes.

minute pour le gravimètre et de 20 minutes pour le GPS. Ce levé gravimétrique a ensuite été rattaché aux données préexistantes grâce au report de toutes les mesures à un point de référence localisé dans le village de Wahlhausen et pour lequel la valeur de g est déjà connue.

Une seconde étape a consisté en la réduction des mesures gravimétriques. Elle consiste à transformer les lectures des instruments en des diffé-

rences de pesanteur entre les points de mesure: application des corrections de marée terrestre et élimination de la dérive instrumentale. L'établissement de la carte d'anomalies de Bouguer est en étroite relation avec la détermination de la densité de réduction de Bouguer (méthode de Nettleton) qui correspond à 2.70gr/cm^3 pour cette étude. Pour terminer le traitement, les données du réseau luxembourgeois ainsi que les données du réseau allemand issues de la banque de données de l'Observatoire Royal de Belgique ont été ajoutées aux données acquises sur le terrain et les longueurs d'onde des anomalies régionales de Bouguer ont été prises en compte. La carte finale d'anomalies de Bouguer a pu ainsi être établie (fig.8.1).

L'interprétation des données permet de localiser des contacts lithologiques, des failles NNO-SSE, des failles ENE-OSO, des filons minéralisés de barytine et des dépôts néogènes.

8.1.2. Le magnétisme

La zone cible représente une superficie de 20 km^2 . Les structures à mettre en évidence étant de direction principale NNO-SSE, direction qui correspond à celle des minéralisations, les mesures ont été réalisées le long de chemins possédant une orientation Est-Ouest. Les structures géologiques à étudier possèdent une échelle de quelques mètres (5 à 20 mètres): la distance entre les points de mesure a été fixée à 10 mètres. Cette prospection a été réalisée avec un magnétomètre à protons Geometrics GA-856. Le temps de mesure est de quelques secondes.

Le traitement appliqué aux données magnétiques brutes récoltées lors des différentes prospections peut être divisé en trois parties: corrections des variations diurnes et anthropiques, optimisation des valeurs d'amplitudes des anomalies et réduction au pôle. Les différentes anomalies présentes sur la figure 8.2 ont été soulignées par des linéaments qui correspondent à des maxima.

Il est possible que pour les anomalies négatives, les linéaments NNO-SSE et NO-SE correspondent, sur le terrain, à des failles vidées de leur minéralisation suite à une exploitation minière (linéaments 1-2-3). En ce qui concerne les anomalies positives, leurs linéaments (5-6-7) peuvent correspondre à des failles minéralisées en chalcoppyrite, en argiles et/ou en quartz incluant des minéraux magnétiques.

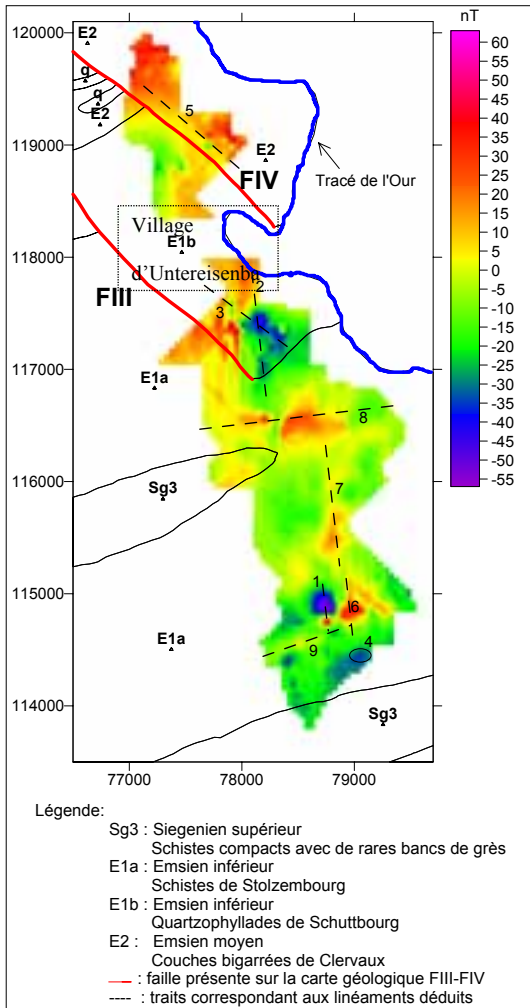


Fig. 8.2: Carte du champ total réduit au pôle superposée à la carte géologique digitalisée (1998). Coordonnées Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation Krigeage, rayon de recherche: 35 mètres. Echelle des valeurs en nT. Linéament 1: mine; linéaments NNO-SSE: 2-6-7; linéaments NO-SE: 3-5; linéaments ENE-OSO: 8-9; zone 4: galerie d'exploration.

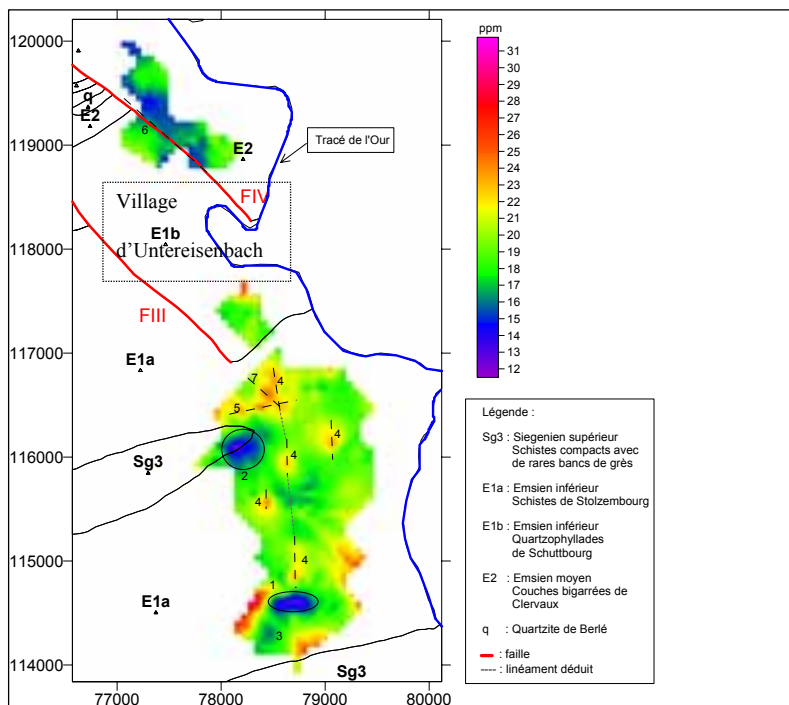


Fig. 8.3: Carte d'anomalies radiométriques TC superposée à la carte géologique digitalisée du GDLux. Coordonnées en Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation: Krigeage. Rayon de recherche: 35 mètres. Echelle des valeurs en ppm. Points 1-2-3: terrains remaniés, 4: linéament NNO-SSE, 5: linéament ENE-OSO, 6-7: linéament NO-SE.

Il est probable que les linéaments ENE-OSO (8-9) correspondent à des zones de failles ENE-OSO.

8.1.3. La radiométrie

La prospection radiométrique s'est réalisée, en collaboration avec le Professeur A. Kies de l'Université de Luxembourg (Laboratoire Physique des Radiations), sur la même superficie que la prospection magnétique. Durant celle-ci, il a été mesuré les variations de concentration des radioéléments tels que l'uranium; le thorium et le potassium. La distance entre les points de mesure est maintenue à 10 mètres, comme ce fut le cas pour la prospection géomagnétique et leur localisation s'est faite grâce à un GPS Garmin III PLUS. L'appareil utilisé est un spectromètre GS-512 (console et sonde) de marque Geofysica. Le temps de mesure a été fixé à cinq minutes.

Le traitement des données est une chose complexe car beaucoup de paramètres interviennent: le

filtrage des données récoltées, l'élimination des effets propres à l'appareillage, l'élimination de l'arrière fond et des effets d'interférence entre les pics d'un spectre donné et finalement l'élimination des effets du terrain sur les mesures. Grâce à ces différentes corrections, plusieurs cartes d'anomalies ont pu être dressées (fig.8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7)

Il est possible de voir sur ces différentes figures la localisation des terrains remaniés (champs, zones déboisées) ainsi que des linéaments dont les directions sont en accord avec celles observées sur les cartes gravimétriques et magnétiques: direction NNO-SSE, NO-SE et ENE-OSO. Une dernière carte a été dressée et représente la répartition du rapport Th/U. Nous y retrouvons la direction principale de la minéralisation qui est NNO-SSE ainsi que la localisation de terrains remaniés. Cette dernière sera utilisée pour la détermination des endroits où les différents «profils radon» pourront être implantés.

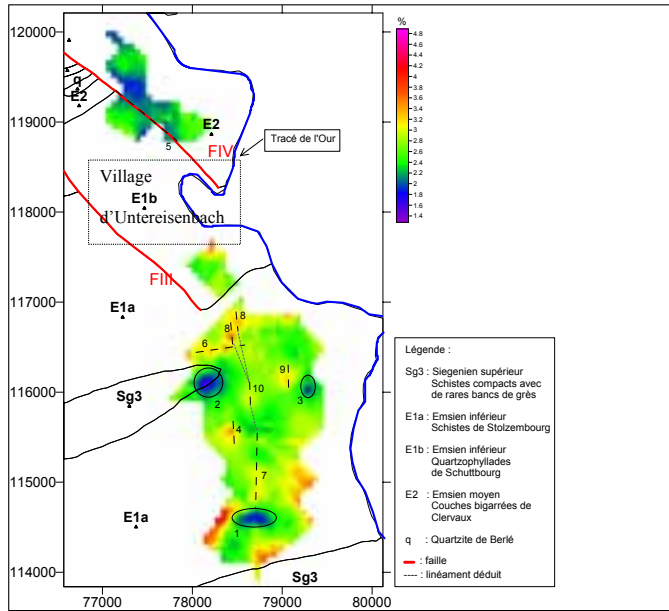


Fig. 8.4: Carte d'anomalies radiométriques K superposée à la carte géologique digitalisée du GDLux. Coordonnées en Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation: Krigeage. Rayon de recherche: 35 mètres. Echelle des valeurs en %. Points 1-2-3: terrains remaniés, points 4-7-8-9-10: linéament NNO-SSE, point 5: linéament NO-SE, point 6: linéament ENE-OSO.

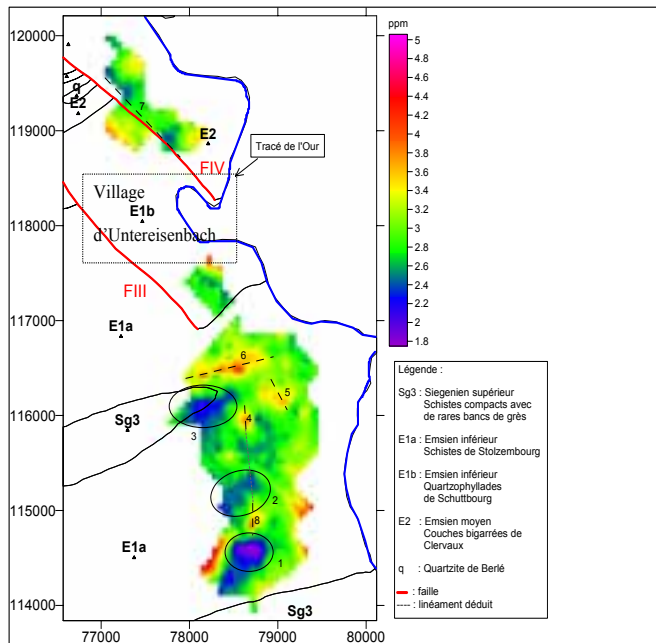


Fig. 8.5: Carte d'anomalies radiométriques U superposée à la carte géologique digitalisée du GDLux. Coordonnées en Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation: Krigeage. Rayon de recherche: 35 mètres. Echelle des valeurs en ppm. Points 1-2-3: terrains remaniés, points 4-5-8 : linéament NNO-SSE, point 7: linéament NO-SE, point 6: linéament ENE-OSO.

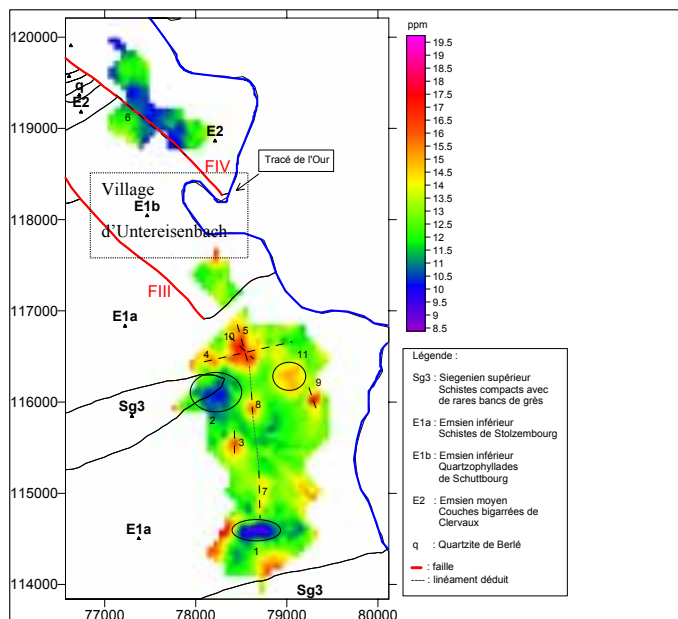


Fig. 8.6: Carte d'anomalies radiométriques Th superposée à la carte géologique digitalisée du GDLux. Coordonnées en Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation: Krigeage. Rayon de recherche: 35 mètres. Echelle des valeurs en ppm. Points 1-2: terrains remaniés, points 3-5-7-8-9 : linéament NNO-SSE, points 6-10: linéament NO-SE, point 4: linéament ENE-OSO, point 11: anomalie positive.

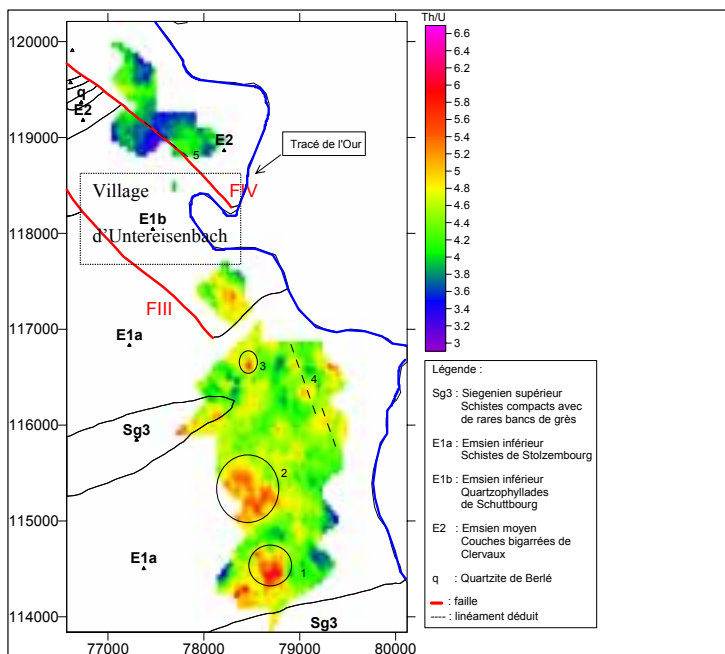


Fig. 8.7: Carte d'anomalies radiométriques Th/U superposée à la carte géologique digitalisée du GDLux. Coordonnées en Gauss-Luxembourg (mètres). Méthode d'interpolation: Krigeage. Rayon de recherche: 35 mètres. Points 1-2-3: terrains remaniés, point 4 : linéament NNO-SSE.

8.1.4. Emanométrie radon

Couplé à la prospection radiométrique, il a été possible de mesurer à certains endroits des émanations du gaz radon. Le prélèvement de ce gaz a été réalisé grâce à des piquets creux enfoncés dans le sol à une profondeur de 1 mètre. À l'aide d'une seringue hypodermique, l'air du sol est pompé à travers le piquet et injecté dans des fioles scintillantes. Celles-ci sont ensuite placées dans un détecteur Luk 4 qui mesure le nombre de particules alpha qui sont émises durant la désintégration du radon et de ses produits de filiation. Ce procédé permet ensuite de calculer l'activité volumique en radon 222.

L'espacement choisi entre les piquets creux varie entre 2 et 5 mètres.

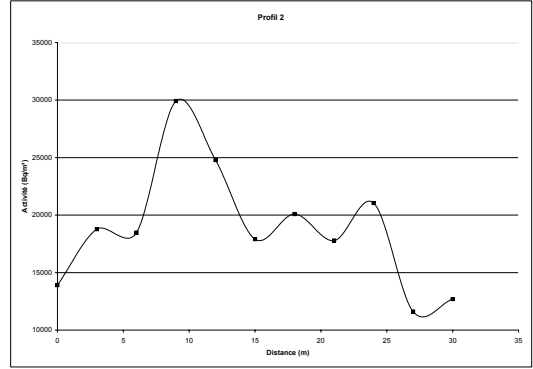


Fig. 8.9: Profil radon n°2 localisé sur la figure 8.8. Axe des abscisses: distance du profil en mètres, axe des ordonnées: activité mesurée pour le radon en Bq/m³. Distance entre les piquets: 3 mètres.

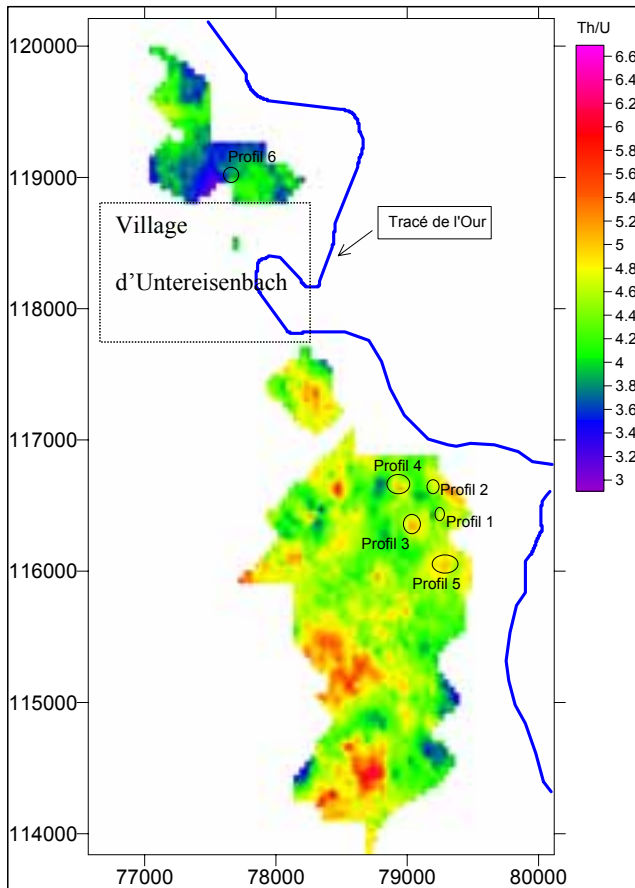


Fig. 8.8: Carte servant à la localisation des différents profils radon (n°1 à 6). Coordonnées en Gauss-Luxembourg (mètres).

La carte d'anomalie représentant le rapport Th/U peut être prise comme base pour localiser les endroits où la mesure du gaz sera la plus optimale. En effet, s'il y a beaucoup de radon qui s'échappe de son lieu de formation par le biais de fractures ou failles, ceci implique que la concentration en uranium est sous-estimée par la mesure de la concentration eU : le rapport Th/U sera donc élevé (fig.8.8).

Sur chaque profil radon, il est possible d'observer un pic qui correspond à une élévation de l'activité du radon dans le sol à un endroit précis (fig.8.9). Cette variation peut être due à la présence de fractures ou failles par lesquelles ce gaz peut s'échapper et non pas à une variation dans le type de roches car les différents profils se situent sur la même formation géologique.

Pour les anomalies présentes sur les autres profils, il est indispensable d'effectuer une intercomparaison entre les différentes méthodes géophysiques réalisées lors de ce travail pour pouvoir les associer correctement à d'éventuels accidents géologiques présents aux mêmes endroits.

8.2. Interprétation géologique des données géophysiques

La corrélation entre les différents levés géologiques et géophysiques a pour but de synthétiser, sous forme d'une carte, toutes les informations recueillies lors de ce travail afin d'essayer d'en déduire une esquisse de la géologie structurale cassante présente dans la région d'étude. La liaison de ces anomalies géophysiques aux objets géologiques les engendrant sera abordée sur base des observations de terrain (à l'affleurement et au niveau des différentes galeries d'exploitation).

Ces données géophysiques seront utilisées pour caractériser au mieux la nature des objets minéralisés leur étant associés. Une proposition d'établissement de l'histoire tectonique cassante relative à cette région clôturera ce chapitre.

Plusieurs failles seront définies. Par convention, les failles en chiffre romain correspondront aux failles définies géologiquement (observations de terrain) et les failles en chiffre arabe aux failles mises en évidence par les méthodes géophysiques.

La quantité d'informations géologiques disponibles pour chacune des failles servira de base pour la discussion qui suit. Trois orientations préférentielles des anomalies soulignées par des linéaments apparaissent: NNO-SSE, NO-SE et ENE-OSO. Celles-ci concordent avec celles mesurées par Bintz (1964) lors de la construction de la Société Electrique de l'Our (SEO). Sur la figure 3.5 (Bintz), la direction dominante est NNO-SSE alors que les directions NO-SE et ENE-OSO possèdent une moindre importance. C'est pour cette raison que le développement relatif à l'intégration des données géophysiques aux données géologiques débutera par les failles d'orientation NNO-SSE, ensuite par les failles NO-SE et se terminera par les failles ENE-OSO.

Trois groupes existent: les failles d'orientation NNO-SSE, les failles d'orientation NO-SE et les failles d'orientation ENE-OSO.

Afin de visualiser ces trois groupes de failles ainsi que les tracés des contacts lithologiques, une nouvelle carte géologique de la région de travail sera dressée et comparée à la carte géologique actuelle (version 1998) (fig.8.10a et 8.10b).

8.2.1. Les failles d'orientation NNO-SSE

La discussion débutera avec la faille F3 (la faille NNO-SSE passant par la mine de cuivre de Stolzenbourg) pour laquelle les informations géologiques et géophysiques sont les plus abondantes.

Cette faille a été mise en évidence par toutes les méthodes géophysiques utilisées (gravimétrie, magnétisme et radiométrie). Son tracé passe non seulement par la mine mais également par les deux autres sites où cette faille et la minéralisation en cuivre ont pu être observées (galeries d'exploration du Flëssen et du Riedgerboesch). Cette concordance entre informations géophysiques et géologiques ne peut que conforter la qualité de la démarche expérimentale suivie qui consiste à appliquer ces informations géologiques à l'interprétation des linéaments observés et qui aboutit à la mise en évidence très probable de failles décrites dans la suite. Ces derniers soulignent dès lors une faille liée aux minéralisations présentes dans cette région (Bintz, 1964; Antun, 1968; Bornain, 1999).

Grâce à cette faille F3, d'autres linéaments NNO-SSE peuvent être analysés et reliés à l'existence possible de failles de même direction. Les interprétations sont

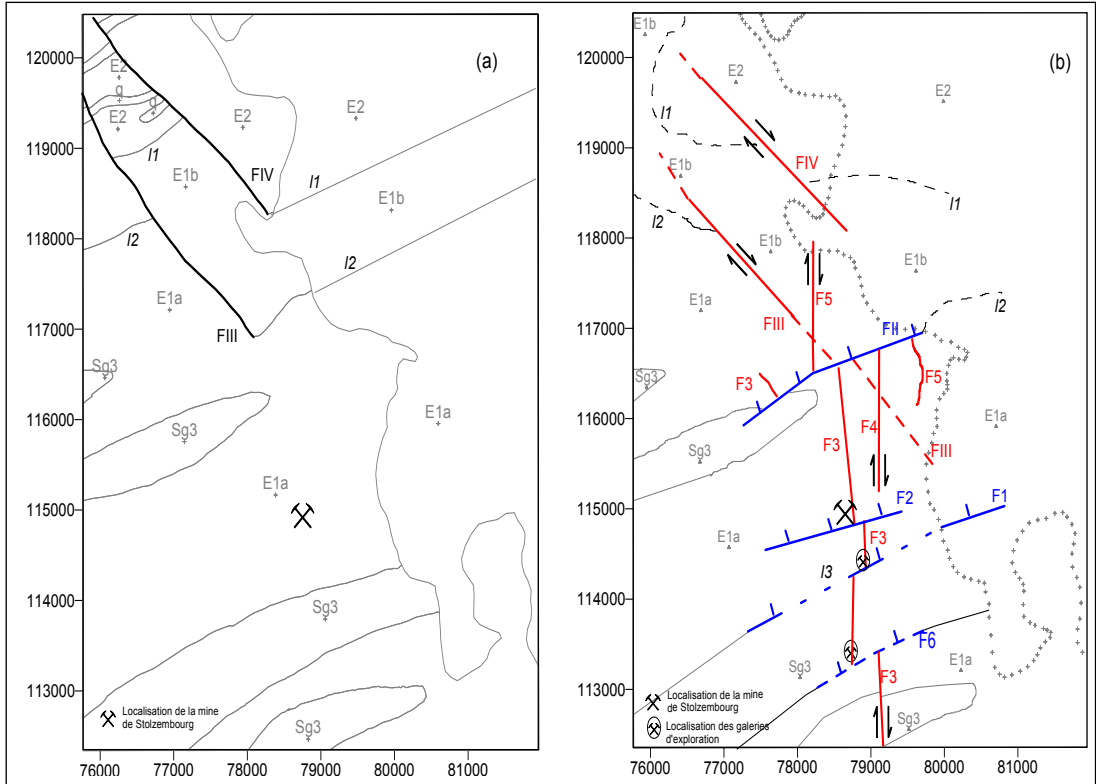


Fig. 8.10: (a) Carte géologique de la zone d'observation (version 1998). (b) Nouvelle carte géologique proposée à partir de la corrélation entre les levés géophysiques et les données géologiques. Sg3 : Siegenien supérieur (Schiste Compact Grossier, mal stratifié avec de rares bancs de grès argileux), E1a : Emsien inférieur (Schistes de Stolzenbourg), E1b : Emsien inférieur (Quartzophyllades de Schuttbourg), E2 : Emsien moyen (Couches bigarrées de Clervaux), q : Emsien supérieur (Quartzite de Berlé). FIII-FIV : failles présentes sur la carte géologique (1998). FII, F1, F2, F3, F6 : failles observées à l'affleurement (sur le terrain ou dans les galeries). F4 et F5 : failles déduites suite aux corrélations des réponses des failles observées. I1, I2, I3 : contacts lithologiques recartographiés. —|— faille normale, —=— faille oblique à composante principale décrochante dextre. Coordonnées en Gauss-Luxembourg. Pointillés bleus soulignant le contact lithologique, pointillés rouges soulignant le problème d'ordre d'apparition des failles NNO-SSE et NO-SE.

basées sur les corrélations multiples entre les différentes cartes d'anomalies gravimétriques, magnétiques et radiométriques.

Plus au Nord de la mine, la gravimétrie et le magnétisme montrent un linéament de même orientation NNO-SSE. Il correspond probablement à la trace d'une même faille de direction identique à celle préalablement décrite et notée F5 sur la figure 8.10b. Aucune observation géologique ne permet d'appuyer cette hypothèse mais la bonne corrélation entre les méthodes géophysiques suppose son existence.

Il a été observé, au niveau du village de Bivels, la présence d'un filon de barytine de direction Nord-

Sud (Bornain, 1999) qui s'est manifesté sur la carte gravimétrique par un surplus de la pesanteur (zone 12'). Le linéament 12'-12'' mis en évidence en gravimétrie présente la même signature que celle relative au filon de barytine de Bivels. Ceci permet non seulement de déduire la présence d'une faille Nord-Sud à cet endroit mais également à poser l'hypothèse d'un remplissage de celle-ci en barytine. Cette minéralisation observée se présenterait comme des filons de direction Nord-Sud. Elle a été observée dans deux galeries d'exploration (Fléssen et Riedgerboesch) (Bornain, 1999).

De plus, une multitude d'anomalies radiométriques sont observées sur le même tracé qui

pourraient être un indice supplémentaire de la présence d'un objet géologique. Les linéaments leur étant associés possèdent une orientation Nord-Sud. Cette faille probable est nommée F4 sur la figure 8.10b.

Les natures des failles NNO-SSE et Nord-Sud ont été décrites par Mosar (1992) comme étant des failles obliques à composante principale décrochante dextre, selon la nomenclature de Mercier et Vergely (1992). Ses observations seront confirmées par l'étude des failles NO-SE (failles FIII et FIV) au cours du prochain paragraphe. Cette caractéristique a pu être approchée lors de la cartographie des différentes galeries d'exploitation sans pour autant être définie avec exactitude car les conditions optimales d'observation n'étaient pas réunies (grande humidité, beaucoup de boue, ...)(Bornain, 1999).

8.2.2. Les failles d'orientation NO-SE

La faille FIV de la carte géologique a été soulignée de manière significative à plusieurs reprises sur les différentes cartes magnétiques, radiométriques et également sur des profils radon réalisés dans une partie de la zone d'étude. Cette faille a été cartographiée sur la carte géologique et il peut être supposé que cette dernière ait été observée même si à l'affleurement aucun indice ne soit visible.

Cette faille peut donc être confirmée. Son tracé n'est pas facile à établir car aucun prolongement de celle-ci souligné par la présence d'anomalies n'a pu être déduit.

Les linéaments relatifs aux anomalies observables possèdent la même orientation que la faille elle-même. Son tracé peut être suggéré correct avec, cependant, un léger décalage par rapport au tracé de la carte géologique (fig.8.10b).

La faille FIII, également présente sur la carte géologique, a pu être recartographiée avec plus de précision. Son prolongement vers le Sud Est peut également être confirmé par la présence de plusieurs linéaments radiométriques et anomalies sur le profil radon réalisé. Son tracé sur la carte géologique semble donc correct et se prolongerait vers le Sud- Est sur base des linéaments observés (fig. 8.10b).

Les deux failles, FIII et FIV, de la carte géologique ont pu être ainsi détectées à l'aide des différentes

méthodes géophysiques et recartographiées suite aux observations réalisées à partir des cartes d'anomalies. Leur orientation reste néanmoins conforme à l'orientation préférentielle des failles dans cette région qui est NNO-SSE à NO-SE.

La nature de ces deux failles peut être déduite à partir de la figure 8.10b. En effet, elles rejettent toutes deux un contact lithologique (I1 et I2). Ces failles sont probablement des failles obliques à composante principale décrochante dextre. Celles-ci ont été étudiées par Mosar (1992) qui a réalisé une caractérisation du paléostress relatif à la région d'étude (fig.3.3) qui est en concordance avec cette nature de faille: compression NO-SE et extension NE-SO.

La faille FII permet de faire une distinction entre les pendages des failles NNO-SSE et NO-SE.

En effet, cette faille ENE-OSO rejette les failles NNO-SSE et NO-SE. Une certaine différence est observable entre leurs rejets apparents. La faille F3, étant en relation avec les minéralisations de cuivre et de barytine, possède le même pendage que celles-ci: 65° vers l'Ouest. Il peut être supposé que la faille F5, possédant la même orientation NNO-SSE, puisse être caractérisée par le même pendage.

Sur la figure 8.10b, ces deux failles possèdent un rejet similaire: élément confortant l'hypothèse que celles-ci sont caractérisées par un même pendage. Par contre, le rejet de la faille FIII est moins important que les deux précédents. Il peut dès lors être supposé que celle-ci a un pendage plus redressé voire subvertical. Toutefois, son tracé, après le rejet par FII, sera figuré en pointillés sur la figure 8.10b car cette dernière recoupe les failles F4 et F5 et aucun argument n'est disponible pour établir leur ordre d'apparition relative. Cette hypothèse, concernant le pendage subvertical, peut être appliquée à la faille FIV, faille de même direction que FIII, malgré qu'il n'y ait pas d'indices observables sur la figure 8.10b.

8.2.3. Les failles d'orientation ENE-OSO

L'ensemble des mesures géophysiques permet de mettre en évidence des failles ENE-OSO qui n'ont jamais été signalées avant cette étude. Toutefois, Mosar (1992) a posé l'hypothèse d'une faille ENE-OSO au niveau du village d'Untereisenbach (fig.3.9) et lui attribue un caractère de charriage en retour.

La faille FII, observée à l’affleurement lors du levé de terrain et décrite au cours du chapitre 3 de ce travail, correspondrait à la faille hypothétique de Mosar. Il existe une convergence entre ces observations et les anomalies tant gravimétriques que magnétiques et radiométriques. Toutes se situent à l’aplomb de son tracé. L’objet géologique mis en évidence à cet endroit peut être associé à une faille ENE-OSO (fig.8.10b). La nature de cette faille n’a pas pu être définie avec certitude car les affleurements sont de mauvaise qualité. Sa définition se fait en référence aux failles ENE-OSO présentes à l’intérieur des différentes galeries.

Une seconde faille ENE-OSO a pu être observée. Il s’agit de la faille F2. Elle est définie par les linéaments gravimétrique et magnétique. Elle a également été étudiée à l’intérieur de la mine.

Avant d’aborder la nature de ces failles ENE-OSO, il est important de caractériser les linéaments isolés qui possèdent deux orientations distinctes (NNO-SSE et ENE-OSO). Grâce à la bonne corrélation entre les différentes techniques citées ci-dessus, l’extrapolation pour les différentes anomalies mises en évidence par le levé gravimétrique qui ne sont pas figurées sur les autres cartes géophysiques car étant hors de leur cadre de prospection respectif devient possible.

Au cours des paragraphes précédents, la zone couverte par la prospection gravimétrique a été estimée à 40km² alors que les zones magnétiques et radiométriques à 20km². Ceci explique que la carte gravimétrique possède plus d’informations que les deux autres cartes.

Certains linéaments ou parties présentent une orientation NNO-SSE. Il peut être admis que ceux-ci correspondent au prolongement des failles leur étant associées pour un endroit précis.

Cette argumentation peut également être appliquée pour les linéaments de direction ENE-OSO qui seraient représentatifs de failles ENE-OSO.

La nature de ces failles ENE-OSO a pu être définie grâce aux différents plans des exploitations mis à disposition (chapitres 5 et 6).

Sur la figure 8.10b, la faille F3 est rejetée à plusieurs reprises par des failles ENE-OSO (FII, F2, F1 et F6). La caractérisation et l’existence de celles-ci ont pu être vérifiées grâce à l’étude des figures des chapitres 5 et 6. La faille FII ayant déjà été décrite précédemment, l’intérêt s’est porté sur la faille F2.

La figure 5.10 représente le filon altéré minéralisé en cuivre observé au niveau de la galerie 1 dans la mine de Stolzembourg. Il est rejeté par une faille normale ENE-OSO de pendage de 60° vers le Nord (Bornain, 1999). Antun (1968) a eu l’occasion d’accéder au neuvième niveau (-106 mètres) de la mine et a pu réaliser la figure 5.9. Sur celle-ci, des failles normales ENE-OSO à pendage Nord sont également visibles.

Finalement, au niveau de la galerie d’exhaure et au niveau 3, des failles normales ENE-OSO à pendage Nord ont été observées (fig.6.7).

Ces figures (fig.5.9, 5.10 et 6.7) confirment l’existence réelle de failles normales qui peuvent être regroupées en une principale (F2) figurée sur la figure 8.10b vu la différence d’échelle qui existe entre les plans des galeries et les cartes d’anomalies.

L’existence de la faille F1 est confortée par l’observation d’une faille normale ENE-OSO avec un pendage de 74° vers le Nord au sein de la galerie d’exploration du Fléssen (fig.6.2) (Bornain, 1999) qui rejette les filons de chalcopryrite.

La faille F6, quant à elle, n’a pas été soulignée par les méthodes géophysiques utilisées. Cependant, sa présence peut être acceptée comme étant réelle grâce à l’étude de la galerie du Riedgerboesch (fig.6.4). A l’intérieur de celle-ci, une multitude de failles normales ENE-OSO à pendage Nord ayant une valeur moyenne de 62° ont pu être observées et cartographiées (Bornain, 1999). Celles-ci peuvent être regroupées en une seule faille principale (F6). Elle souligne également le contact lithologique entre le E1a et le Sg3. Par contre, aucun indice visible mettant en évidence ce contact n’a pu être observé à l’intérieur de la galerie. Les quantités d’humidité et de boue trop importantes masquent les variations lithologiques au sein des affleurements.

Une dernière faille ENE-OSO a pu être étudiée à l’affleurement. Il s’agit de la faille FVII. C’est une faille normale à pendage Sud (fig.3.8) qui ne figure pas sur les cartes géophysiques car elle se situe en dehors du cadre relatif aux différentes prospections.

8.2.4. Les contacts lithologiques

Seule l'étude gravimétrique a permis de mettre en évidence les contacts lithologiques présents dans la région et ainsi de faire apparaître une différence avec la carte géologique du pays. En effet, le contact entre les Couches Bigarrées de Clervaux (E2) et les Quartzophyllades de Schuttbourg (E1b) (contact présent dans le Nord de la zone d'étude), noté I1, peut être décalé vers le Sud par rapport à celui de la carte géologique. Toutefois, le contact lithologique entre les Couches Bigarrées de Clervaux (E2) et le Quartzite de Berlé (q), visible sur la carte géologique (fig.8.10a), n'est pas souligné sur la figure 8.10b. Ceci est probablement dû à la faible densité d'échantillonnage gravimétrique dans cette région.

Le contact lithologique entre les Quartzophyllades de Schuttbourg (E1b) et les Schistes de Stolzenbourg (E1a) a pu également être recartographié plus au Sud du contact actuel. Il est noté I2 sur la figure 8.10b.

Un troisième contact lithologique a pu être approché. Il s'agit du contact entre les Schistes de Stolzenbourg (E1a) et les Schistes compacts (Sg3). Ce dernier possède une caractéristique en plus des deux autres contacts décrits ci-dessus: c'est un contact par faille. Il est noté I3 sur la figure 8.10b.

Pour synthétiser ce qui vient d'être développé ci-dessus, il a été possible d'associer les anomalies géophysiques à des failles de direction NNO-SSE, NO-SE et ENE-OSO, pour la plupart d'entre elles repérées dans des anciennes galeries d'exploitation de minerais de cuivre et de barytine et d'en caractériser la nature. Les failles NNO-SSE et NO-SE sont des failles obliques dont la composante principale est décrochante dextre et les failles ENE-OSO sont associées à des failles normales. Des corrélations ont été faites avec le tracé des failles de la carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg. Pour l'une d'elles (FIII), un prolongement vers le Sud-Est a été tracé.

Il est apparu que la cartographie de certains contacts lithologiques semblait incorrecte sur base de la carte gravimétrique réalisée. Cette dernière permet de proposer de nouveaux tracés.

9. Métallogénèse

La métallogénèse est à la fois une science fondamentale et une science appliquée. Elle vise à décrire les gîtes minéraux et à comprendre leur mécanisme de formation. Le terme de gîtologie en désigne la partie descriptive. Laffitte et al. (1965) ont également introduit la notion de métalotecte qui désigne les facteurs conduisant à une concentration et par extension sera un guide utilisé dans la recherche de sites semblables.

L'étude métallogénique du gisement de cuivre de Stolzenbourg est une première synthèse de ce travail. Elle mettra en évidence les conditions physico-chimiques de mise en place de la minéralisation et son conditionnement par le contexte structural, la géométrie et nous permettra d'envisager un métalotecte.

En théorie, pour avoir formation d'un gisement au sens minéralogique et économique du terme, cinq conditions sont essentielles: des solutions minéralisées disponibles, des ouvertures dans la roche en connexion depuis la source jusqu'au dépôt, un site disponible pour le dépôt, des réactions chimiques induisant le dépôt, des concentrations suffisantes pour être rentable économiquement.

9.1. La géométrie de la minéralisation

Dans le contexte schisto-gréseux de l'encaissant de Stolzenbourg, les ouvertures théoriques de la roche pouvant être intéressantes pour la mise en place d'une minéralisation sont les suivantes: les plans de stratification, les fissures et failles, les cavités de shear-zone, les fractures longitudinales le long de la crête et sur les flancs des plis et les brèches tectoniques et d'effondrement ('collapse').

Les travaux de Bornain (1999, 2003) ont largement démontré qu'à Stolzenbourg, les minéralisations se sont mises en place le long de failles disposées en systèmes NNO-SSE et NO-SE. Les observations en galerie et sur les échantillons de minerais ont montré qu'une brèche tectonique était souvent associée à la minéralisation. Les ouvertures dans lesquelles la minéralisation de Stolzenbourg s'est mise en place sont donc des failles de décrochement dextres ouvertes associées à des brèches (voir fig. 5.7).

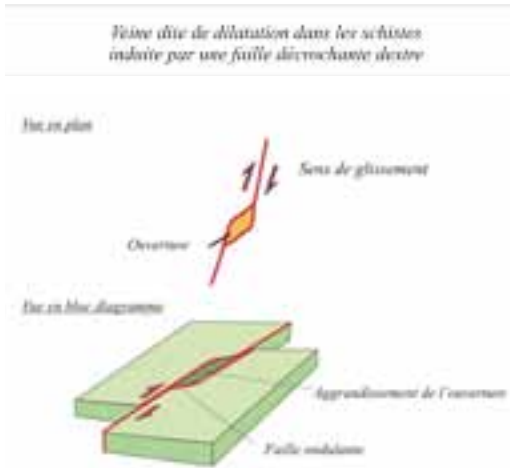


Fig. 9.1: Veine dite de dilatation dans les schistes induite par une faille décrochante dextre. Modèle schématique de la faille 3 de Bornain (2003). Fig.: Simon Filippo.

A Stolzembourg, la plupart des veines de fissure minéralisées ont seulement quelques décimètres de large. Certaines dépassent le mètre. Cette variation d'ouverture des fissures peut être expliquée par la figure 9.1 qui présente les veines de dilatation induites par des failles décrochantes dextres dans les schistes. La figure 9.1 schématise le potentiel de la faille 3 de la figure 8.10. Ces ouvertures vont donner comme résultat des fissures en chapelets. Dans ces fissures, les teneurs en minerai sont rarement distribués de manière homogène. Elles tendent à être concentrés du côté des murs ou vers le centre. Économiquement, certaines parties sont plus riches, d'autres plus maigres. Les larges concentrations sont appelées colonnes minéralisées ou 'Ore shoots'. Stolzembourg présente ce système de Ore shoots. Nous avons compilé l'ensemble des données minières relatives à la mine de Stolzembourg de manière à présenter un bloc diagramme de la minéralisation en trois dimensions (voir fig. 5.3).

Lucius en 1948 concluait déjà son chapitre de Stolzembourg avec les remarques suivantes:

«(...) on peut admettre comme possible et même comme probable que la mine est plus riche en profondeur. Les filons de Stolzembourg sont essentiellement des filons spathiques et accessoirement barytiques, d'origine hydrothermale. Or, les carbonates s'éloignent le plus du

foyer d'origine des gîtes hydrothermaux. Ils se rencontrent à la périphérie des dépôts épithermaux, tandis que les sulfures de cuivre se déposent plutôt à la limite inférieure de la zone épithermale, voire dans la zone mésothermale. Tandis que les gîtes carbonatées s'étalent en plein épanouissement, les traînées sporadiques de minerai de cuivre qui se rencontrent ne seraient que les apophyses les plus avancées vers la périphérie de colonnes augmentant en volume vers la profondeur.»

La figure 5.3 décrit parfaitement la pensée de Lucius et permet d'avoir une vision globale de la minéralisation en cuivre du site de la mine de Stolzembourg.

En ce qui concerne la géométrie du gisement, l'étude de Bornain (2003) a permis d'avoir une meilleure vue d'ensemble de la structurale cassante aux alentours de la mine et d'établir des connexions structurales entre les divers sites de prospection des environs. Les différentes occurrences telles que la mine, le Fléssen et le Riedgerboesch correspondent en fait à la même faille minéralisée (faille f3) qui a été déplacée par un rejeu des failles ENE-OSO (voir figure 8.10)

Nous confirmons dans ce travail que les minéralisations étudiées dans cette région sont toutes liées à des failles décrochantes dextres ou à des failles normales (Bintz, 1964; Antun, 1968; Mosar, 1992; Bornain, 1999).

Ce travail nous permet de tirer les conclusions suivantes relatives aux différentes minéralisations: toutes les failles NNO-SSE et certaines failles NO-SE sont caractérisées par une minéralisation en chalcopryrite, en barytine, en quartz et en argiles et les failles NO-SE et ENE-OSO par une minéralisation en argiles et en quartz. Ces déductions sont en accord avec les observations des différents auteurs suivants: Bintz (1964), Antun (1968), Staudt (1976), Mosar (1992) et Bornain (1999). Nous pouvons également ajouter que grâce à l'observation de la figure de synthèse du travail de Bornain (2003) (figure 8.10b), il y a, le long d'une même faille, telle que la faille 3, passage de corps minéralisés en cuivre lenticulaires à des veines de quartz contenant uniquement des indices de minéralisation en cuivre. Il s'agit bien donc d'une géométrie de failles en chapelets.

9.2. Les conditions physico-chimiques de mise en place de la minéralisation

Tous les auteurs ayant travaillé sur le site de Stolzenbourg, le décrivent comme un gisement de type hydrothermal. Le terme hydrothermal implique que des fluides d'eau chaude contenant les substances minérales en solution soient comprises dans une gamme de T° variant entre 50° et 500°C (Wiley *et al.*, 1976).

En 1977, E. Staudt caractérise les inclusions fluides observées dans l'ankérite et le quartz de Stolzenbourg. Il étudie les inclusions primaires à l'aide d'un microscope Leitz-Ortholux muni d'une platine Leitz 350. Les hautes températures lui sont fournies par une résistance électrique et les basses par un courant d'azote gazeux circulant dans la platine.

Les résultats de cette étude sont présentés au tableau.9.1.

Il en conclut que la température de formation des minéraux primaires se situe autour des 150°C et donc que le gisement s'est formé à basse température. Il démontre également que la phase liquide contient d'autres sels que NaCl et KCl. Il montre que toutes les mesures se trouvent en dessous du point eutectique du système NaCl-KCl-H₂O et que les autres constituants doivent être des sels de Ca, Mg, Fe et Mn.

Selon les travaux de classification de Lindgren (1933) qui se basent sur les conditions de T° et de pression déterminées par les inclusions fluides et en fonction des résultats de E. Staudt présentés ci-dessus: à Stolzenbourg, nous avons affaire à un dépôt épithermal.

Sous ces conditions de basse température et de basse pression, le remplissage de cavités ('cavity filling') prédomine largement sur les processus de remplacement. Ce qui permettra de comprendre le système de formation des colonnes minéralisées. Les facteurs pouvant influencer les conditions de dépôt sont multiples. Nous en citerons ici quelques uns: des variations de pH, des modifications du chimisme de la solution par interaction avec la roche encaissante, des variations de la pression ou de la température, ...

Dans le cas de Stolzenbourg, la meilleure hypothèse est donnée par Staudt (1977). Il part de

Tableau 9.1: Résultats des mesures sur les inclusions fluides de Staudt, 1977.

	T° de fin de fusion (°C)	T° d'homogénéisation (°C)
Ankérite	-25	144
	-25	143
	-26	153
	-24	151
	-23	-
	-27	148
	-28	156
	-23	-
	-25	152
	-24	154
	-27	148
	-28	150
	-27	148
	-23	-
Quartz	-24	148
	-26	152
	-25	150
	-23	140

l'hypothèse que la formation de la gangue carbonatée (dolomite, ...) est régie par trois paramètres influents sur la solubilité de la solution carbonatée: la température, la salinité de la solution et la pression partielle de CO₂. Il considère qu'un refroidissement de la solution est à exclure car la solubilité augmente lorsque la température diminue. Pour cet auteur, une chute de la salinité est peu probable au regard des mesures réalisées en inclusions fluides. Il propose donc que ce soit le dégazage de CO₂ et H₂S qui ait provoqué la précipitation des minéraux.

La mise en place d'une minéralisation engendre théoriquement une altération de la roche encaissante. Comme, à Stolzenbourg, les solutions ont une température relativement basse; cette altération se traduit par une rubéfaction des épontes du filon (voir fig. 5.7).

Dans les dépôts par remplissage de cavités ('cavity filling') comme c'est le cas à Stolzenbourg, le

minéral se met en place par couches successives appelé 'crustification'. La séquence de formation des différents minéraux a été décrite en détail dans le chapitre 7. Les séquences paragenétiques varient légèrement d'un filon à l'autre mais, en moyenne, les carbonates cristallisent en premier, suivis de près par le quartz et les sulfures précipitent en dernier. Ainsi, selon le principe de crustification, les carbonates se déposent sur les épontes. Ils remplissent en premier les parties pincées des failles. Les fluides transportant les métaux arrivent en dernier et circulent dans les ouvertures laissées libres et décrites à la figure 9.1. C'est la combinaison de cette séquence paragenétique avec la géométrie des failles qui engendre les colonnes minéralisées (Ore shoots deposit) schématisées à la figure 5.3.

9.3. La minéralisation de Stolzenbourg dans son contexte régional

Nous venons de voir les conditions physico-chimiques et géométriques de mise en place de la minéralisation de Stolzenbourg. Reste à essayer d'argumenter la question de l'origine des solutions minéralisées. Pour aborder cette question, nous devons regarder autour de nous et voir s'il existe d'autres minéralisations semblables à celle de Stolzenbourg de manière à établir un modèle régional de mise en place.

Krahn et Baumann (1996) donnent la description suivante des minéralisations filoniennes du massif schisteux rhénan.

«La plupart des veines minéralisées varisques sont considérées comme associées à des plutons profonds comme source potentielle en métaux. Néanmoins, il n'existe aucune indication directe de leur existence. Les critères suggérant un âge varisque à ces minéralisations sont leur relation intime avec les structures varisques telles que les plans de clivage et les plis. Elles sont de direction NE-SW (plan de clivage). Dans ces systèmes, il y a transition entre des corps minéralisés lenticulaires et des veines de quartz contenant uniquement des indices de minéralisation.

Les minéralisations en veine post-varisques n'ont reçu que peu d'attention de part le passé due à leur importance économique mineure. Avec comme exception les minéralisations importantes situées de part et d'autre (est et ouest) de l'Eifel. La plupart des veines sont orientées

NS, certaines NW-SE. De manière générale, les veines sont ouvertes dans des roches encaissantes bréchifiées, recouvertes de cristaux de quartz euhédraux (cristallisation palissadique) et dont les cavités sont entièrement ou partiellement remplies de minéral souvent bien cristallisé. Les minéraux ne montrent généralement aucune indication de stress tectonique. Les minéraux de la gangue sont le quartz, la baryte et la sidérite. Le minéral principal est la galène. La sphalérite est rare et la tétraédrite en inclusion dans la galène contient entre 0,1 et 2,1 % d'Ag.»

La description, faite par ces auteurs, des minéralisations post-varisques orientées Nord-Sud, présentant une roche encaissante bréchifiée et des minéraux de gangue telles que quartz, baryte et sidérite est en parfait accord avec la description que nous avons pu faire de la minéralisation en cuivre de Stolzenbourg. D'autres auteurs décrivant des minéralisations filoniennes en métaux ou en baryte, dans le massif Ardenne – Eisleck – Eifel, font des commentaires qui vont dans le même sens.

La prospection géochimique de Krimmel (1988) dans l'Eifel met en évidence des minéralisations en barite toutes liées à des fractures NNE-SSW dans des sédiments gréseux. Il signale que les zones de flexures horizontales, résultant d'un plissement d'unités tectoniques inférieures pendant la compression, sont extrêmement importantes car elles créent des fissures en grande profondeur au travers desquelles les solutions minéralisées peuvent migrer.

Les données de Demaiffe et Dejonghe (1990) sur les gîtes de barite en Wallonie sont comparables à celles de Baumann et Hofmann (1988) sur les barytes d'Allemagne de l'Ouest et à celles de Michard *et al.* (1983) pour les barites des Vosges et du Massif Central. Ces données excluent une composante mantélique et une composante eau de mer importante pour le strontium. En conséquence, l'origine crustale (continentale) du strontium et du baryum ne fait aucun doute. Selon ces auteurs, les éléments ont pu être véhiculés selon divers mécanismes tels que la mobilisation des eaux connées expulsées par la compaction ou la lixiviation des roches encaissantes.

Dejonghe (1985) précise qu'en accord avec de Magnée (1967), la genèse des minéralisations est liée à la circulation en profondeur des eaux connées et/ou météoriques dissolvant les métaux contenus dans les sédiments. La précipitation des sulfures

se faisant dans la partie ascendante de ce circuit en profondeur, en milieu réducteur et par libération de CO_2 . Ces minéralisations sont en lien avec des failles subverticales transverses au plan axial des plis. Ces failles sont d'âge post-varisque.

Nous voyons qu'à l'échelle régionale, l'origine des fluides minéralisés est essentiellement crustale avec des circulations en profondeur d'eau connée ou météorique qui lessive les métaux contenus dans les roches encaissantes.

Krahn et Baumann (1996) vont plus loin dans leur réflexion. Pour eux, les investigations concernant les inclusions fluides des minéralisations post-

varisques dans l'est du Massif schisteux rhénan révèlent que des fluides ont une salinité élevée (Ca-Na-(K-Mg)-Cl). Ces fluides montrent de grandes similitudes avec les solutions de porosité des saumures présentes dans les bassins sédimentaires profonds (Skinner, 1979; Hanor, 1979). Les sels proviennent probablement de la dissolution des séries évaporitiques des molasses Permo-Trias traversant de part en part le massif schisteux et les solutions remontent telles des saumures de basement à travers les niveaux supérieurs de l'orogénèse varisque, mobilisant les métaux et le plomb plus évolué des roches paléozoïques.

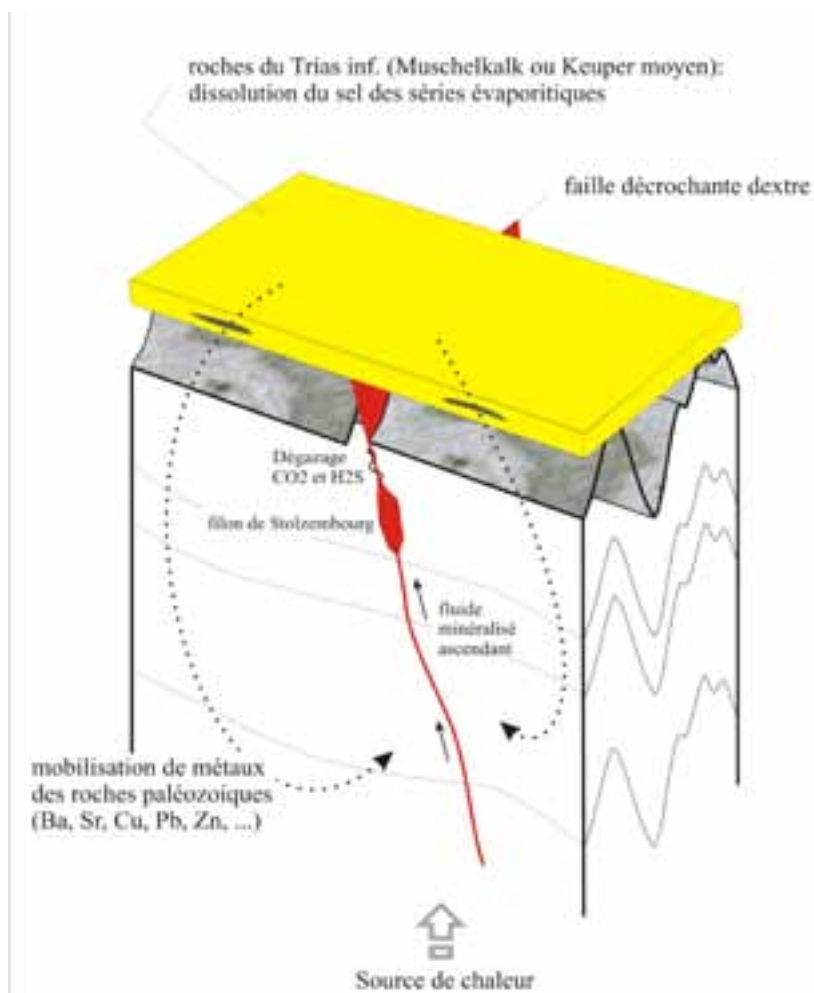


Fig 9.2: Modèle du métallotecte de Stolzembourg, adapté de Krahn et Baumann (1996).

La remontée des solutions portant les métaux a pu être déclenchée par des diapirs extensifs du manteau. Le projet EifelPlume démontrant ce genre de phénomène est un argument de cette hypothèse venant en plus des indications géophysiques de ces phénomènes reportés par Neugebauer et al. (1983). Les diapirs du manteau peuvent avoir joué le rôle de moteur dans le processus de formation des minéralisations par apport de chaleur. Une contribution significative en métaux du manteau dans la formation des minéralisations est improbable car la signature isotopique du Pb des galènes contenu dans les minéralisations post-varisques est clairement une signature crustale (Krahn et Baumann, 1996).

En compilant toutes ces données, nous avons réalisé une figure (fig.9.2) qui reprend les données du métallotecte accepté pour Stolzenbourg et résume la situation.

10. Conclusions

Lucius (1948) conclut son chapitre sur Stolzenbourg avec les remarques suivantes: «La tectonique de détail du filon serait également à étudier de près. Il va de soi que les dérangements avec ou sans rejet, sont nombreux dans une région aussi fortement disloquée comme l'Oesling. De ce fait le filon peut présenter des déviations et des dédoublements. Un certain nombre de travers-bancs seraient donc à creuser surtout dans la partie inférieure de la mine». L'étude menée par Bornain (2003) permet de répondre aux attentes de Lucius et montre que ses hypothèses étaient fondées.

Antun (1968) propose l'hypothèse suivante de mise en place de la minéralisation en cuivre de Stolzenbourg. Cet auteur suppose que les fissures ouvertes pendant le plissement hercynien subissent une bréchification et une oxydation des schistes encaissants à la fin du Permien ou au début du Trias (Buntsandstein) (245 My), suivi du dépôt de la minéralisation. Vraisemblablement, les eaux filoniennes seraient, dans son esprit, des eaux de surface ou des eaux souterraines imprégnées par les sédiments rouges de la couverture (Buntsandstein) et circulant dans le socle dévonien. Il considère comme contemporaines les minéralisations de Martelange, Bivels – Stolzenbourg et Bleialf.

Staudt (1977) ne donne pas de date précise pour la formation de la minéralisation mais il mène une réflexion intéressante quand aux conditions de mise en place que nous venons de voir au chapitre précédent. Ceci a pour conséquence la mise en place de la minéralisation à une période durant laquelle l'érosion de l'Ardenne avait suffisamment progressé pour que les gaz, par le jeu des failles, puissent atteindre la surface et s'échapper.

Nix (1985) et Staudt (1977) précisent que la minéralisation s'est produite en plusieurs étapes liées à la formation de minerais différents. Nix (1985) considère le minerai disséminé comme contemporain de la base du Trias et place donc la minéralisation dans un intervalle de temps compris entre la phase asturienne du plissement hercynien (303 My) et la base du Trias (245 My).

Pour Heinen (1996), la formation du gisement est d'âge post-varisque voire Tertiaire. Il l'explique de la manière suivante: «Il est permis de penser qu'au cours de la percée du Golfe rhénan inférieur, liée à la surrection du massif rhénan, des solutions minéralisées ont pu s'élever à l'aplomb de dislocations profondes. Selon Krahn (1988), des solutions salines aqueuses descendantes ont mobilisé les métaux des roches sédimentaires paléozoïques, sous l'action thermique d'une source de chaleur profonde». L'auteur justifie l'origine de cette source par les travaux récents de l'équipe GEOMAR à Kiel: «... Des examens sismiques ont mis en évidence une zone chaude du manteau de 2500 à 4000 kilomètres, se glissant sous l'Afrique du nord et l'Europe occidentale. Elle alimenterait la totalité des volcans d'Europe en magma, ce qui expliquerait la grande similitude des roches volcaniques européennes ...»

Tous les auteurs qui ont étudiés la minéralisation de Stolzenbourg sont d'accord sur une mise en place de la minéralisation en période post-varisque. Aucun d'eux n'a réalisé de datation directe (absolue) de celle-ci. Nous ajouterons que si nous envisageons le métallotecte décrit au chapitre 9 dans son ensemble, les solutions salines descendantes doivent se charger sur base de la dissolution de roches du Keuper ou du Muschelkalk moyen. La minéralisation serait donc âgée d'environ 240 M.a. (Muschelkalk moyen). En consultant la littérature, nous avons pu examiner des données relatives à d'autres mines du Rheinisches Schiefergebirges et les mettre en relation avec celle de Stolzenbourg.

Lors du plissement hercynien affectant la région, la première famille de failles qui s'est développée est caractérisée par une direction ENE-OSO (Bintz, 1964). À l'échelle régionale, au carbonifère supérieur (phase asturienne), deux plaques continentales entrent en collision engendrant un mouvement compressif de direction NO. Durant cette orogénèse, des minéralisations se mettent en place. Le gisement d'antimoine (Sb) de Goesdorf est un très bel exemple luxembourgeois. L'étude récente de Nies (2005) présente en détail cette minéralisation. Elle peut être mise en corrélation avec des mines du «Rheinisches Schiefergebirges» comme la Grube Apollo (Raubach), Altenahr et la Grube Aurora (Ramsbeck) dans la région de Koblenz. Ces gisements ont en commun une minéralisation en mode extensif de veines de quartz et stibine avec des assemblages de sulfosels de Cu, Pb et Zn.

Ensuite, la famille de failles obliques à composante principale décrochante dextre NNO-SSE et NO-SE (de type 'shear joints') s'est développée permettant la mise en place ultérieure des minéralisations en chalcopryrite (F3) et en barytine (F4) dans la région (fig.8.10b) de Stolzenbourg.

Nous avons constaté que la faille NO-SE (FIII) est également caractérisée par une minéralisation en chalcopryrite. Ces failles NO-SE se sont ouvertes en même temps que les failles NNO-SSE car les 'shear joints' sont très souvent conjugués.

L'âge de cette seconde phase tectonique s'étale du Permien au Jurassique inférieur (Wagner et Cook, 1998). Celle-ci est probablement engendrée par l'édification de la Pangée (Elmi *et al.*, 1996).

Les arguments discutés précédemment nous permettent d'affirmer que le gisement de Stolzenbourg est d'âge post-varisque. Les analyses des isotopes du plomb réalisées par Krahn et Baumann (1996), lors de leur étude des minéralisations épigénétiques en Cu, Pb, Zn de la région ouest du Rheinisches Schiefergebirges, classent les gisements de direction NO-SE, tels que Bleialf, dans les "veines minéralisées dans les sédiments paléozoïques d'âge post-varisque". Stolzenbourg correspond à cette classification. L'analyse des isotopes du plomb du gisement de Bleialf donnant un âge de 242 ± 13 My, on peut supposer que la minéralisation de Stolzenbourg a un âge similaire et se serait donc mise en place au Buntsandstein ou au Muschelkalk. Cette conclusion est en accord avec les auteurs précédents (Antun, 1968; Staudt,

1977 et Nix, 1985). De plus, elle repose sur une étude régionale (Krahn et Baumann, 1996) et conforte notre modèle de métallotecte.

Enfin, la première famille de failles, de direction ENE-OSO, a derechef été soumise à des contraintes. Les failles NNO-SSE et NO-SE et par la même occasion leurs minéralisations s'en trouvent affectées. Nous noterons le déplacement des failles en plusieurs endroits sur la figure 8.10b: FII, F1, F2 et F6 rejetant F3; la faille FII affecte également F5 et FIII dans sa partie septentrionale. Cette dernière phase tectonique est caractérisée par une composante normale qui est visible à l'intérieur des galeries.

Cet évènement pourrait avoir eu lieu lors de l'ouverture de la Téthys (Elmi *et al.* 1996) et est lié à l'ouverture de l'océan nord atlantique et à l'orogénèse alpine. Il est visible à grande échelle dans le Guttland et affecte les couches du Lias supérieur. Dans l'Eislèk, celui-ci est masqué par les failles de même direction préexistantes et par le caractère ductile des schistes.

Concernant la Minéralogie *stricto sensu*, ce travail a permis de préciser et d'étudier de nombreuses espèces que les collectionneurs amateurs avaient décrites de manière empirique. Mais surtout, nous avons jeté un pavé dans la mare en parlant dorénavant de dolomite de Stolzenbourg et non plus d'ankérite. Cette appellation a perduré pendant des années même après la publication d'analyses de Ronchesne (1932), Schreurs (1981) et Bornain (1999), qui décrivaient clairement une dolomite...

La série des minéraux primaires de type sulfures (chalcopryrite, pyrite, galène, sphalérite, cubanite, covellite et digénite) a été étoffée, analysée en détail et décrite morphologiquement. Cette série de données permet ainsi d'avoir une meilleure vue d'ensemble du minerai et de décrire la zone de cémentation.

Les minéraux de néoformation contenant du cuivre ont également été précisés et décrits. Nous pouvons dorénavant en citer cinq: la brochantite, la cuprite, le cuivre natif, la chalcantithe et la malachite.

La minéralisation en barite de Bivels, qui jusqu'à présent était considérée comme isolée, est à présent liée à la minéralisation en cuivre de Stolzenbourg. Les différentes occurrences en barite (Fléssen, Riedgerbësch, SEO et Bivels) ont toutes des teneurs élevées en strontium.

D'un point de vue historique, l'étude présente et décrit en détail un témoin essentiel du passé minier du pays. L'Eislèk a un passé minier d'exception. Que ce soit la mine de Stolzenbourg, la mine d'antimoine de Goesdorf, les ardoisières de Martelanges, celles d'Asselborn ou de Niederwampach, ou la mine de plomb d'Allerborn-Longvilly; les anciennes mines sont nombreuses dans le nord du pays. Elles nécessitent toutes une approche scientifique de détail pour en révéler la richesse géologique, historique et minéralogique.

L'histoire de la mine de Stolzenbourg est également construite par les nombreux scientifiques qui se sont penchés sur sa minéralogie et ont essayé de décrire sa structure et sa géométrie. Certains ont eu accès à des niveaux aujourd'hui noyés; leur témoignage nous a permis d'aborder la minéralisation dans sa globalité.

Pour terminer, nous pouvons affirmer que l'ancienne mine de cuivre de Stolzenbourg et toutes ses galeries satellites sont un patrimoine géologique national extrêmement riche. Cette mine réouverte au grand public grâce à la persévérance de personnes fédérées par le syndicat d'initiative de Stolzenbourg a maintenant un support écrit qui la raconte, l'explique et la met encore un peu plus en valeur.

Ce trésor de la minéralogie luxembourgeoise livre ainsi une partie de ses secrets ...

Bibliographie

- Antun P. 1968. - Die Stölzemberger Kupferergänge: Erwägungen zu ihrer Geologie, Mineralogie und Ausbeutbarkeit. Note interne. Publ. Serv. Géol. de Luxembourg, 28 pp.
- Asselberghs E. 1912. - Contribution à l'étude du Dévonien inférieur du Grand-Duché de Luxembourg. Ann. Soc. Geol. Belg. t. XXXIX: M25-M112.
- Asselberghs E. 1941. - Emsien et Kloblenzschichten en Ardenne, dans l'Oesling et dans l'Eifel. Mém. Inst. Geol., Univ. de Louvain. t. XIII, fasc. II: 63-89.
- Asselberghs E. 1946. - L'éodévonien de l'Ardenne. Mém. Inst. Geol., Univ. de Louvain. t. XIV: 598p.
- Bartholomé P., Gérard, E. 1976. - Les gisements plombifères de la région d'Engis, Province de Liège, Belgique. Ann. Mines Belg.: 901-917.
- Bateman A.M. 1967. - The formation of Mineral Deposits. Ed. John Wiley & Sons, New York, 371 pp.
- Baumann A., Hofmann R. 1988. - Strontium isotope systematics of hydrothermal vein minerals in deposits of West Germany. Geologische Rundschau 77/3: 747-762.
- Beaunier P. 1803. - Mémoire sur la situation de la mine de cuivre de Stolzenbourg (Département des Forêts) et sur les moyens d'en reprendre l'exploitation. Manuscrit remis au Secrétariat du Conseil des Mines, le 26 brumaire an 12.
- Berg D. 1965. - Die Klüfte im Paläozoikum und Mesozoikum von Luxemburg und der westlichen Eifel. Ihre Beziehung zur allgemeinen Tektonik und ihr Einfluß auf das Gewässernetz. Publ. Serv. Geol. de Luxembourg. Vol. 16: 89 pp.
- Bintz J. 1964. - Die Geologie und der variscische Gebingsbau im Bereich des Pumpspeicherwerkes Vianden. Veröff. Luxemb. Geol. Dienst. 14: 79-97.
- Bintz J., Hary A., Muller A. 1973. - Guides géologiques régionaux, Luxembourg, Ed. Masson. Paris. 135-188.
- Bornain S. 1999. - Etude de la minéralisation filonienne de cuivre de Stolzenbourg (Vianden, Grand-Duché de Luxembourg). Mémoire de licence, Université catholique de Louvain, 100 pp.
- Bornain S. 2003. - La tectonique cassante dans la région de Stolzenbourg (Grand-Duché de Luxembourg) à la lumière de données géophysiques (gravimétrie, magnétisme, spectrométrie gamma et émanométrie radon. - Thèse de doctorat, Université catholique de Louvain, 275 pp.
- Bornain S., Kies A., Everaerts M. 2003. - Mise en évidence de failles à l'aide de mesures géomagnétiques et d'émanation radon dans la région de Stolzenbourg, Eisleck, Grand-Duché de Luxembourg. Geologica Belgica, 6/1-2: 25-30.
- Bultynck P., Coen-Aubert M., Godefroid J. 2000. - Summary of the state of correlation in the Devonian of the Ardenne (Belgium-NE France) resulting from the decisions of the SDS. Cour. Forsch. Inst. Senckenberg. 225: 91-114.

- Bultynck P., Dejonghe L. 2001. - Devonian lithostratigraphic Units (Belgium). *Geologica Belgica*. Vol. 4, n°1-2: 39-69.
- Carte Géologique du Grand-Duché de Luxembourg. 1998. - Carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg au 1: 100 000. Version 2.2. Edition Service Géologique du Luxembourg.
- Collinson J.D., Thompson D.B. 1982. - Sedimentary structures. Ed. George Allen & Unwin, Londres, 194 pp.
- Deer W.A., Howie R.A. & Zussman J. 1978. - An introduction of the rock forming minerals. Longman, 528 pp.
- Defleurs J.C. 1969. - Description minéralogique du gisement de Stolzenbourg et étude comparative des propriétés optiques de chalcopyrites d'origines diverses, Mémoire de licence de l'Université libre de Bruxelles, 59 pp.
- Dejonghe L. 1985. - Mineral deposits of Belgium, *Bull. Soc. Belg. Geol.* 94/4: 283-297.
- De Magnée I. 1967. - Contribution à l'étude génétique des gisements belges de plomb, zinc et baryte. In Brown, J.S., Genesis of stratiform lead-zinc-barite-fluorite deposits in carbonate rocks. Ed. *Econ. Geol. Minogr.*, 3: 255-266.
- Demaiffe D., Dejonghe L. 1990. - Géochimie isotopique du strontium des barites, anhydrites, calcites et fluorites de Belgique. *Ann. Soc. Géol. Belg.* T113/2: 231-240.
- Dumont A. 1848. - Mémoire sur les terrains ardennais et rhénans de l'Ardenne, du rhin, du Brabant et du Condroz. *Mém. Acad. Roy. Sc. Belg.* T.XX-XXII, 613 pp.
- Elmi S., Babin C., 1996. - Histoire de la Terre (troisième édition). Ed. Masson, Coll. Amphisciences, France, 187 pp.
- Engelspach - Larivière A. 1828. - Description géognostique du Grand-Duché de Luxembourg. Ed. Hayez, Bruxelles, 116 pp.
- Faber A. & Philippo S. 1998. - Mir gin op d'grouf. Brochure du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg, Grand-Duché de Luxembourg, 31 pp.
- Fourmarier P. 1931. - Les plissements calédoniens et les plissements hercyniens en Belgique. *Ann. Soc. Géol. Belg.* L IV: B364-384.
- Fourmarier P. 1956. - Remarques au sujet de la schistosité en général avec application aux terrains paléozoïques de l'Ardenne et du Massif schisteux Rhénan. *Geol. Mijnb. N.S.* 2: 47-56.
- Fourmarier P., Bintz J., Lambrecht L., Heyard, H. 1968. - Anomalies de la schistosité dans le Paléozoïque de la Haute Ardenne. *Ann. Soc. Geol. Belg.* t. 91: 171-269.
- Furtak H. 1965. - Die Tektonik der unterdevonischen Gesteinsfolge im deutsch-belgisch-luxemburgischen Genzgebiet. *Geol. Mitt., Aachen.* 4: 273-332.
- Gaines R., Skinner H., Foord E, Mason B. & Rosenzweig A. 1997. - Dana's new mineralogy, Wiley & Sons, New-York, 1819 pp.
- Godin A., 1884. - Analyse du minerai de cuivre de Stolzenbourg. *Revue Universelle des Mines et de la Métallurgie*, t.XIV, Liège, 242pp.
- Gosselet J. 1885. - Note sur le Taunusien dans le bassin de Luxembourg et particulièrement dans le golfe de Charleville. *Ann. Soc. Géol. du Nord*: 333-363.
- Gosselet J. 1888. - L'Ardenne. *Mém. Serv. Carte Géol. de France*, 889 pp.
- Guilbert J.M. & Park C.F. 1975. - The Geology of Ore Deposits. Ed. Freeman, 985 pp.
- Guilbert J.M. & Park C.F. 1986. - The Geology of Ore Deposits. Ed. Freeman, 985 pp.
- Hanor J.s. 1979. - Sedimentary genesis of hydrothermal fluids: In Barnes, H. L., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*: John Wiley And Sons, New York, P. 137-168.
- Heinen G. 1996. - Trésors de la Terre du Minéral au Bijou. Catalogue, Abbaye De Brogne, Belgique, 128 Pp.
- Hoffmann I., Faber A., Heinen G., Schoellen J., Schroeder N. 1998. - Die ersten Abbauperioden in der Kupfergrube von Stolzenbourg 1717-1853. - De Stolzebuenger Pannewippchen, N°4, 32-39.
- Hoffmann I., Faber A., Heinen G., Schoellen J., Schroeder N. 1999. - Die letzten Abbauperioden in der Kupfergrube von Stolzenbourg

- 1845-1999. - De Stolzebuenger Pannewippchen, N°5, 19-32.
- Hofmann R., Baumann A. 1984. - Preliminary report on the Sr isotopic composition of hydrothermal vein barites in the Federal Republic of Germany. *Mineral. Deposita* 19: 166-169.
- Klein C. 1980. - L'intérêt tectogénétique de la discordance post-calédonienne en ardenne. Les notions d'hérédité mécanique et d'induction tectonique. *Bull. Soc. Belg. Géol.* T.89: 1-54.
- Konrad H.j. & Wachsmut W. 1973. - Zur Lithologie und Tektonik des Unterdevons im südlichen Oesling Luxemburgs. *Publ. Serv. Géol. Du Luxembourg, Bull.* N°5. 20 Pp.
- Krahn L. 1988. - Buntmetall- Vererzung und Blei-isotopie im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten. *Dissertation, Aachen.*
- Krahn L. & Baumann A. 1996. - Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany. *Mineral. Deposita*, 31/3: 225-237.
- Krimmel M. 1988. - Geochemical detail prospecting for Base-Metal and barite mineralizations in the left Rhenish slate mountains. In Vogel A., Miller H., Greiling R., *The Rhenish Massif*, Ed. Vieweg: 113-131.
- Kronz G. & Heinen G. 1993. - Die Mineralien des Oeslings. *Edition de l'AGMP, hors-série n°1.*
- Lafitte P., Permingeat F., Routhier P., 1965. - Cartographie Métallogénique, Métallotecte, Géochimie Régionale. *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.* 88:3-6.
- Lindgren W. 1933. - *Mineral Deposits*. Fourth Edit. Mc Graw-hill, New York, London. 930 Pp.
- Lucius M. 1948. - Les gîtes métallifères de l'Oesling. *Extrait de la Revue Technique* N°4/48. 41 pp.
- Lucius M. 1949. - Carte géologique du Luxembourg. Feuille 8, région de Wiltz, échelle 1:50000.
- Lucius M. 1950. - Das Oesling, Erläuterungen zu der geologischer Spezialkarte Luxemburgs. *Publ. Serv. Geol de Luxembourg*, n°6, 174 pp.
- Lucius M. 1951. - Les traits fondamentaux de l'histoire géologique du sol luxembourgeois. *Luxembourg*. 67 pp.
- Lucius M. 1955. - Les traits fondamentaux de l'allure tectonique du Dévonien de l'Oesling. *Bull. Soc. Nat. Luxembourg*, n°59: 17-50.
- Macar P., Antun P. 1950. - Pseudo-nodules et glissement sous-aquatique dans l'Emsien inférieur de l'Oesling (Grand-Duché de Luxembourg). *Ann. Soc. Geol. Belg. t. LXXIII*: B121-149.
- Maquil R. & Lohnertz W. 1984. - Das Pumpspeicherwerk Vianden und die Geologie seiner Umgebung. *Jber. Mitt. Oberrhein Geol. Ver. NF* 66: 41-50.
- Mercier J. & Vergely P. 1992. - *Tectonique*. Collection Geosciences. Ed. Dunod, Paris. 214 pp.
- Meyer W. 1986. - *Geologie der Eifel*. Ed. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 614 pp.
- Michard A., Arnold M., Guillou J., Sheppard Smf., 1983. - Analyse $\delta^{34}\text{S}$, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ de sulfates et $\delta^{18}\text{O}$ du quartz pseudomorphique de filons minéralisés à Ba-F. *Coll. ATP Géochimie/Métallogénie*, Bonas, 272-277.
- Milmeister J. 1975. - Notre patrimoine culturel méconnu 16): La mine de cuivre de Stolzembourg. *Luxemburger Worth*, 271/1975:4.
- Mittmeyer H.J. 1974. - Zur Neufassung der rheinischen Unterdevonstufen. *Mainzer Geowiss. Mitt.* 3-9. Universität de Mainz, 104 pp.
- Mosar J. 1992. - Structures et dynamique dans l'Ardenne luxembourgeoise vues dans le cadre d'une tectonique chevauchante. *Structural Geology, Eislek, Luxembourg. Projet de Recherche R&D/BFR/89012-A1. Rapport Final* 126 pp.
- Muller A. 1980. - Luxembourg. In *Géologie des pays européens: France, Belgique, Luxembourg*. 26^{ième} Congr. Geol. Internat. Paris. Ed. Dunod: 577-594.
- Muller G. 1988. - Communication privée à Guy Heinen (spectres d'analyses).
- Neugebauer H.j., Woidt W.d., Wallner H. 1983. - Uplift, volcanism and tectonics: evidence for mantle diapirs at the Rhenish Massif, In Fuchs, K., von Gehlen, K., Mälzer, H., Murawski, H., Semmel, A. Eds., *Plateau Upfift*: Berlin, Springer, p.381-403.
- Nies N. 2005. - *Geologische Interpretation der Umgebung der Antimonlagerstätte bei Goesdorf*. Diplomarbeit Universität Trier, 147 pp.
- Nix P. 1985. - La minéralisation cuprifère de Stolzembourg. *Travail de fin d'étude pour l'obtention du grade d'ingénieur civil géologue*. Université de Liège, 107 pp.

- Orth H. 1902. - Notice sur les mines de cuivre de Stolzenbourg. Impr. J. Beffort, Luxembourg, 10 pp.
- Philippo S. 2004. - 150 Joer Musée national d'histoire naturelle. Ed. Natur Musée, Luxbg, 276 pp.
- Robert J. 1912. - Beiträge zur Geologie und Tektonik der luxemburgischer Ardennen. Programm des Grossherzoglichen Besuchs zu Diekirch. Grand-Duché de Luxembourg. 31-45.
- Ronchesne P. 1932. - Quelques minéraux du gîte de Stolzenbourg. Ann. Soc. Géol. Belgique (A.S.G.B.), T. LVI, bull. 3, pp. b38.
- Ronchesne P. 1933. - Note sur les Sulfures de la Mine de cuivre de Stolzenbourg, Vianden (Grand-duché de Luxembourg. - Ann. Soc. Géol. Belgique (A.S.G.B.), T. LVI, bull. 5, pp. b103.
- Roux N. 1794. - Analyse de la Mine de cuivre de Stolzenbourg, Canton de Vianden, département des Forêts. Journal des Mines. Luxembourg, 12 pp.
- Roth S. 2003. - Geochemical signature of rocks and weathering products in Luxembourg. Thèse de doctorat. Université de Bonn. 108 pp.
- Schreurs J. 1981. - Stolzenbourg; Copper mine. Travail de fin d'étude, Université d'Utrecht, 46pp.
- Service Géologique du Luxembourg. 1998. - Carte géologique du Grand-Duché de Luxembourg.
- Siegen P.-M. 1881. - Passé & Avenir de la mine de cuivre de Stolzenbourg. Imp. Bück, Luxembourg, 12pp.
- Skinner, B.J. 1979. - The many origins of hydrothermal mineral deposits. p. 1-21, In Barnes H.L. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 2nd ed. New York: Wiley, 798 pp.
- Staudt E. 1977. - La distribution des indices de cuivre dans les Ardennes belges et luxembourgeoises. Travail de fin d'étude pour l'obtention du grade d'ingénieur civil géologue, Université de Liège, 138 pp.
- Suppe J. & Medwedeff D.A. 1991. - Geometry and kinematics of fault propagation folding. Eclogae. Geol. Helv.83: 409-454.
- Vandenvan G. 1991. - Explications de la carte géologique du Synclitorium de l'Eifel (Région de Gouvy-Sankt-Vith-Elsenborn). Ann. Soc. Géol. Belg. t.113: 103-113.
- Van Wijnen J.C. 1953. - Etude microtectonique dans les Ardennes luxembourgeoises. Publ. Serv. Geol. Du Luxembourg, X: 60 pp.
- Voigt A. 1952. - Die Bleizinkerzorkommen im Buntsandstein und Unterdevon Nordeifel. Geol. Jahrb. 66: 1-13.
- Wagner T. & Cook N.J. 1998. - Sphalerite remobilization during multistage hydrothermal mineralization events – examples from siderite-Pb-Zn-Cu veins, Rheinisches Schiefergebirge, Germany. Mineralogy and Petrology 63/3-4: 223-241.
- Wemer K. 1976. - Zur Stratigraphie und Tektonik des Unterdevons im Bereich NW Flanke des Sattels von Givonne Zwischen Bivels und Holzthum. Diplomarbeit, Universität Mainz, 29 pp.
- Williere, 1901. - Société des mines de Stolzenbourg, rapport. Imp. Joseph Beffort, Luxembourg.
- Williere, 1928. - Rapport sur la mine de Stolzenbourg.
- Zobel, W. 1969. - Zur Geologie des Unterdevons (Ems) im Bereich der Wiltzer Mulde Zwischen Rodershausen und Gemünd. Diplomarbeit, Universität Mainz, 41 pp.

Une seconde occurrence mondiale de gravegliaite et une première occurrence nationale d'or, Schimpach, Grand-Duché de Luxembourg*

Simon Philippo

Musée national d'histoire naturelle
25, rue de Münster
L-2160 Luxembourg
sphilippo@mnhn.lu

Guy Kronz

Musée national d'histoire naturelle
25, rue de Münster
L-2160 Luxembourg
kronzguy@pt.lu

**Ergebnisse eines vom wissenschaftlichen Forschungszentrum des Nationalen Naturhistorischen Museums in Luxemburg durchgeführten Projektes.*

Résultats d'un projet de recherche réalisé par le Centre de recherche du Musée national d'histoire naturelle à Luxembourg.

Results of a research project conducted by the research centre of the National Museum of Natural History in Luxembourg.

Résumé

Le Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg s'est intéressé au site de Schimpach pour trois raisons:

- dans ses collections, certains quartz recouverts d'un enduit jaune portaient l'indication 'Schimpach station'
- Lucius décrivait en 1950 des cristaux de quartz de 8 cm pour ce site
- Schimpach est situé à quelques kilomètres des fameux gisements de quartz de Bastogne.

Trois bonnes raisons pour commencer une recherche approfondie sur la localité.

L'étude du site de l'ardoisière de Niederwampach et de ses environs nous a permis de mettre en évidence, associée aux quartz, la seconde occurrence mondiale de gravegliaite et de réaliser une étude exhaustive de ces cristaux de quartz.

L'étude des alluvions de la Wiltz, coulant au pied du gisement de quartz, nous a permis de localiser un petit placer aurifère et de pouvoir ainsi, pour la première fois, signaler une occurrence d'or au Grand-duché de Luxembourg.

Abstract

The national museum of natural history of Luxembourg was interested in the quartz deposit of Schimpach for three reasons:

- in its collections, some quartz specimens covered with a yellow coating where labelled "Schimpach station".
- in 1950, Lucius mentioned for this locality quartz crystals up to eight centimetres.
- Schimpach is located only a few kilometres away from the famous quartz deposit of Bastogne.

Three good reasons to start a scientific investigation about this locality.

The study of the Niederwampach slate quarry and the surrounding area lead us to describe, associated with quartz, the worldwide second occurrence of gravegliaite. Furthermore we took the opportunity to make an extensive study of the quartz crystals.

Studies of the alluvia of the river Wiltz, that flows at the bottom of the quartz deposit, enabled us to bring into evidence a small gold placer and thus describe for the first time an occurrence of gold on the territory of the Grand Duchy of Luxembourg.

Zusammenfassung

Das Naturhistorische Museum in Luxemburg hat aus folgenden drei Gründen am Quarzvorkommen von Schimpach Interesse gezeigt:

- In der Sammlung des Museums befinden sich Quarze mit einem gelben Überzug für welche als Fundort Schimpach Station genannt wird.
- Im Jahre 1950 beschrieb Lucius Quarzkristalle von 8 cm von diesem Fundort.
- Schimpach liegt nur einige Kilometer von den bekannten Quarzfundstellen bei Bastogne.

Drei gute Gründe also die Gegend um Schimpach genauer zu untersuchen.

Durch Nachforschungen im Schieferbergwerk von Niederwampach und der näheren Umgebung konnte in der Quarzparagenese noch das Mineral Gravegliait nachgewiesen werden. Hierbei handelt es sich um das weltweit zweite Vorkommen dieses Minerals.

Des Weiteren wurden auch die verschiedenen Formen von Quarzkristallen genauer untersucht.

Darüber hinaus konnte durch Untersuchung des Alluviums im Bachbett der Wiltz, welche am Fuß des Quarzvorkommens fließt, eine kleine Goldseife nachgewiesen werden. Hiermit wurde also auch der erste Nachweis von gediegen Gold auf Luxemburger Territorium erbracht.

1. Introduction

Le site de Schimpach est localisé au Luxembourg, dans l'Eislèk, à quelques centaines de mètres de la frontière belge, à proximité des villages luxembourgeois de Niederwampach, Schimpach et Schleif et près des villages belges de Wardin, Bras et Benonchamps.

La zone d'étude se situe dans la vallée de la Wiltz près de l'ancienne gare de Schimpach (fig.1).

Nous avons prospecté la zone à la recherche de minéralisations en quartz en lien avec celles de Bastogne et nous avons réalisé une prospection systématique des alluvions de la rivière Wiltz (alt. 382m) à la batée dans un premier temps et au sluice dans un second temps.

La minéralisation en quartz apparaît sous forme de filons de direction NE-SO visibles à proximité de l'entrée principale de l'ancienne ardoisière de Niederwampach (alt. 407m), visibles également dans une carrière d'ardoise plus au sud (alt. 435m). Cette ardoisière est dangereuse avec une seconde entrée à 450m d'altitude, elle s'étend sur près de 40 m de dénivelés creusés dans la colline appelée 'Schellert'.

Ces filons parallèles sont recoupés systématiquement le long du chemin rural de direction N-S qui relie Schimpach Station à Bras en traversant la frontière par les bois.

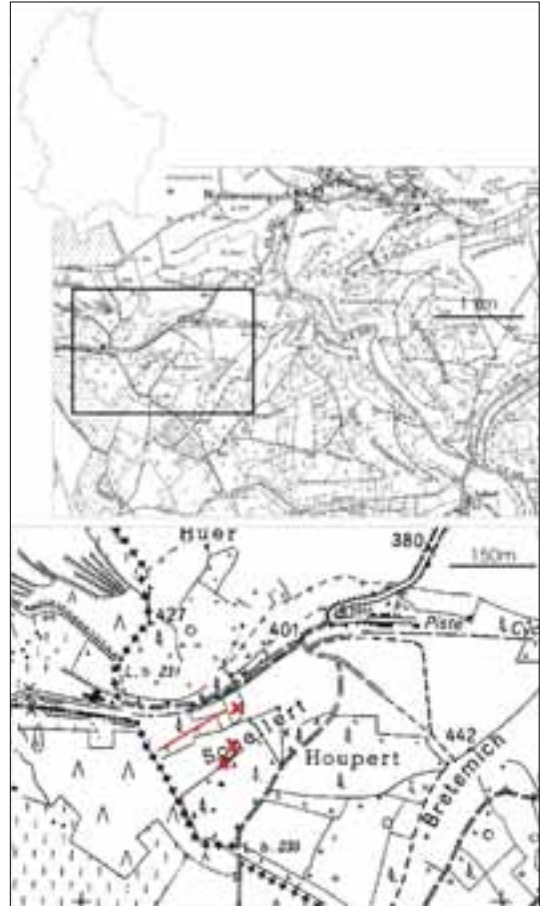


Fig. 1: Localisation de la minéralisation en quartz de Schimpach.

2. Histoire

Le géologue luxembourgeois Michel Lucius dans sa publication de 1950 'Das Oesling', s'intéresse de près aux roches des environs de Schimpach. A travers le texte, toute une série d'informations pouvaient déjà trahir la présence d'un site d'intérêt minéralogique.

«Au Nord de la station Schleif avant le premier tunnel dans la tranchée du chemin de fer se trouve à la limite entre l'Emsien inférieur et le Siegénien supérieur une zone large d'au moins 10 m qui est fortement accidentée. Entre des couches importantes de grès quartzeux se trouve du schiste qui se détache en couches aussi fines que du papier. Des filons de quartz parcourent le grès dans tous les sens et sont eux-mêmes pliés, cassés ou en lentilles aplaties. Le schiste est parfois soudé si finement sur ces filons qu'il recouvre comme du papier tous les détails. A ceci s'ajoutent pleins d'écaillés de séricite (muscovite) et de la pyrite en cristaux bien formés. Le schiste froissé est imprégné de substances organiques, de couleur noir et brillant avec une consistance argileuse et était utilisé comme cire à poêle (graphite).

A la sortie du premier tunnel au Nord de la station de Schleif on rencontre une zone perturbée similaire.

L'Emsien inférieur et le Siegénien supérieur montrent ici de telles épaisseurs réduites, que nous pouvons expliquer, par un enlèvement de tout le paquet de couches par une faille de charriage.

Des cristaux bien formés et limpides jusqu'à 8cm de cristal de roche ont été signalés dans les environs de Schleif et de la station de Schimpach.»
(Lucius, 1950)

Les roches de la zone sont les plus vieilles affleurant au Grand-duché de Luxembourg. C'est le Siegénien inférieur.

«Par la suite il n'y a plus d'affleurement jusqu'à 200m à l'Est de la gare de Schimpach. Ici commence un schiste bleu, facilement clivable mais en partie quartzique qui donne plus vers l'Ouest, près de la frontière territoriale, des bons affleurements. A cet endroit existait une vieille ardoisière, qui bien qu'ouverte seulement vers

fin 1900, fût abandonnée peu après. De très fines couches striées d'un grès quartzeux extrêmement dur (d = N 35° E, i = 70° vers E = 35° S) sont intercalées dans des schistes.

Ce schiste est mis par E. Leblanc [1923, pg. 319 (33) et pg. 381 (95)] dans le Taunusien = Siegénien inf. (Sg 1). D'après sa carte, un petit bout de ces couches s'étend en direction SO-NE entre Schimpach gare jusqu'au village de Schimpach sur le territoire luxembourgeois. Son opinion a été reprise dans ce texte.

La différenciation des deux étages est faite depuis les caractéristiques pétrographiques. (...)

Dans le Siegénien inférieur (Sg1) le grès quartzeux est formé par des couches très fines et régulières d'un grès quartzeux de couleur claire en alternance avec du schiste foncé, ayant pour résultat un aspect strié de la roche.»
(Lucius, 1950)

3. Géologie

La région de Schimpach est située dans les terrains les plus anciens de l'Éisléck, le Siegenien inférieur (Sg1). Celui-ci est caractérisé par des phyllades bleu-noir et quartzophyllades gris qui affleurent sporadiquement dans la vallée de la Wiltz (région de Schimpach) (Lucius, 1950). Beugnies (1986) décrit les roches affleurant aux alentours de Schimpach comme une série de phyllades et quartzo-phyllades finement zonaires. Il précise que ces roches sont d'âge S1c et constituent la formation d'Alle. Cette formation a donné lieu à des exploitations d'ardoises locales comme c'est le cas à Schimpach. On y trouve localement des débris de plantes de type *Taeniocrada decheniana*. Actuellement, ces niveaux sont placés dans la partie supérieure de la Formation de Mirwart (MIR de Godefroid et al., 1994), considérée comme étant d'âge praguien.

Les formations géologiques dessinent une série de plis orientés NE-SO s'ennoyant légèrement vers le NE. L'ensemble des couches décrit une large structure anticlinale. Les plis de la zone sont du type déjetés à déversés vers le Nord avec des pendages fort raides avec des valeurs de 70° à 85° S pour les flancs normaux dans la zone de Bras (Bastogne).

La région de Bastogne est affectée par une série de failles longitudinales inverses de plusieurs kilomètres de long et à pendage Sud. Seule exception est la faille de TroisVierges – Bastogne (faille de Vencimont) qui passe au Sud de Bastogne et qui a un pendage Nord (Jongmans et Cosgrove (1993)). Beugnies (1986) a étudié ces failles en détail et à hauteur de Schimpach, deux d'entre-elles, accidents majeurs de l'Ardenne, nous intéressent particulièrement: la faille de Wardin et celle d'Opont (Figure 2).

La faille de Wardin, dans son tracé entre Longvilly et Wardin, a un jeu vertical correspondant à un enfoncement du panneau Est de 300m. Par contre, entre Wardin et Luttrebois, elle se comporte comme un décrochement senestre refoulant le panneau Est de 1600 m vers le NE. Elle est soulignée sur le terrain par de nombreux filons de quartz souvent accompagnés de minéralisations en Fe (Marvie, Wardin, ...) et en Pb-Zn (Longvilly – Allerborn).

Ces minerais ont fait l'objet d'anciennes exploitations.

La faille d'Opont est longue de plus de 93 km. Elle est sinueuse avec une faible pente vers le Sud. Son tracé est reporté de 500 m vers le NE par le décrochement (faille) de Wardin (Figure 2).

D'après divers auteurs (Stainier (1907), Lohest (1909), Corin (1932), Asselberghs (1946), Brühl (1966), Antun (1971), Lambert et Bellière (1976) et Jongmans et Cosgrove (1993)) ayant étudié la région, le boudinage est antérieur à la phase majeure hercynienne. Les étapes de formation sont les suivantes: développement de la schistosité, développement du boudinage traduisant une extension NO-SE accompagné de métamorphisme, première phase de plissement orientée N15°E et enfin développement de la phase majeure hercynienne N50°E (direction de l'axe des plis) avec formation de la schistosité à pendage Sud.

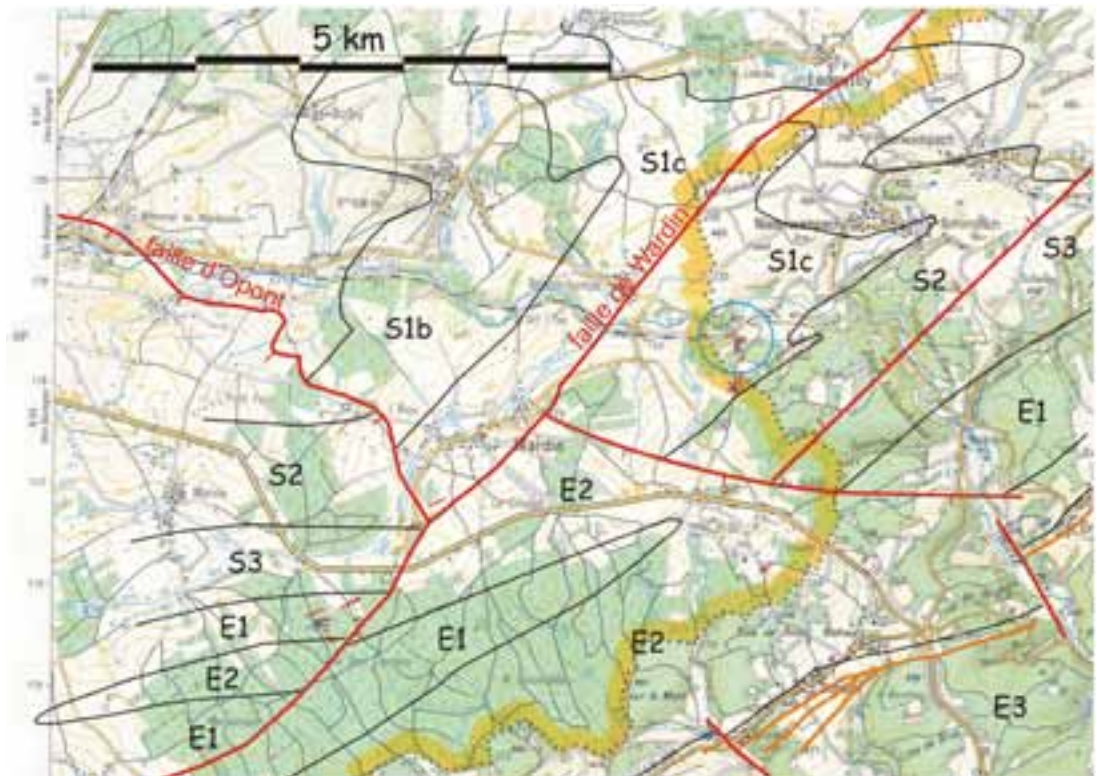


Fig. 2: Carte géologique simplifiée de la région de Schimpach - Wardin. Compilation de la carte de Beugnies (1986) et de la dernière édition de la carte géologique du Luxembourg (1992). — : Filon à quartz cristallisé.

4. Minéralogie des filons de quartz

4.1. Hématite, Fe_2O_3

L'hématite se présente en encroûtement noir brillant qui recouvre le quartz en certains endroits (photo). En allemand, on le décrirait par le terme 'Glaskopf' qui n'a pas d'équivalent en français et qui signifierait littéralement 'tête vitreuse'. Cette espèce a été confirmée par diffraction de rayons X sur l'échantillon Ze057. Cette phase est partiellement altérée en goéthite.

L'hématite se retrouve également dans la fraction dense de la prospection alluvionnaire.

4.2. Gravegliaite, $\text{Mn}^{2+}\text{SO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

Le minéral gravegliaite est un minéral extrêmement rare. C'est un oxyde de la sous-classe des sulfites. La seule occurrence mondiale était jusqu'à présent son lieu de découverte. Décrit en 1991 par Basso *et al.*, il a été découvert en Italie dans le Val Graveglia (Est de la Ligurie), associé à l'hématite et au minerai de manganèse siliceux de la mine Gambatesa.

A Schimpach, il a été observé en cristaux euhédraux, de 0,1 à 0,2 mm de long, assemblés sous forme de rosettes (planche 1) sur un échantillon récolté en novembre 2005. Les cristaux sont de couleur vert très clair ou brun orangé, avec un éclat résineux. Ce minéral est toujours recouvert par une couche de goéthite. La détermination a été faite par diffraction des rayons X (analyse SP23/2005) sur l'échantillon portant la référence Ze111 (table d'indexation des pics) et par FDAX.

Il s'agit donc d'un nouveau minéral pour le Luxembourg mais aussi d'une seconde occurrence mondiale.

4.3. Moganite, SiO_2

Ce minéral découvert en 1984 aux Canaries et accepté à l'I.M.A. en 1999, se présente sous la forme d'inclusions microcristallines contenues dans un grand nombre de cristaux de quartz de part le monde. A Schimpach, il a été identifié uniquement par diffraction des rayons X.

4.4. Quartz, SiO_2

Le quartz se présente à Schimpach sous la forme de différents habitus. La plupart des quartz sont

simples avec la face s (11-21) en supplément (Planche 2, Fig. 1). Les quartz de Schimpach correspondent donc bien à la description des quartz de Marvie faite par Césaró en 1886: la zone (10-10) (10-11) est isogone de la zone (10-10) (41-51) (01-11).

Le plus grand cristal trouvé à Schimpach fait 12 cm de long. C'est un ensemble de cristaux biterminés en croissance parallèle (Planche 2, 1).

Le faciès prismatique est le plus courant. Il est composé du prisme *m* et de 2 rhomboèdres, *r* et *z*. Le rapport largeur *l* sur longueur *L* est en moyenne compris entre 2/3 et 1/4.

Le spécimen Ze078 (Planche 2, 2) trouvé en 2002 est un superbe ensemble de 3 cristaux prismatiques de 6 cm. Sur le spécimen Ze080, le grand cristal mesure 5,2 cm (Planche 2, 3).

Un autre spécimen remarquable est le Ze081a qui est terminé aux 2 extrémités avec l'une d'elle qui est chloritée (Planche 2, 4). Quelques rares cristaux ont un rapport *l/L* supérieur à 6. Le spécimen Ze081b est un exemple de 5,6 cm avec un rapport légèrement supérieur à 10 (Planche 2, 5).

Un autre faciès courant à Schimpach est les ensembles de cristaux empilés selon l'axe *a* et vrillés. Ces quartz sont appelés peignes ou gwindel. Deux spécimens sont présentés en photo (Planche 2, 6 et 7): l'un avec des terminaisons simples et l'autre avec une terminaison simple et l'autre multiple. Ces deux spécimens sont des quartz gauches. Un seul de ces spécimens présente une âme sur un cristal limpide (Planche 2, 8). Il s'agit du spécimen Ze098 qui fait 0,8 cm.

Notons encore deux curiosités: un spécimen de 5,4 cm tordu (Planche 2, 9) et le spécimen Ze093 qui est parfaitement tabulaire et biterminé mais non vrillé (Planche 2, 10).

Aucune macle de quartz n'a été observée parmi les échantillons récoltés à ce jour.

Sur les quartz on trouve souvent un enduit jaune de goéthite, FeOOH .

4.5. Chlorite, $\text{Mg,Fe,Al}_5(\text{Al,Si})_3\text{O}_{10}(\text{OH})_8$

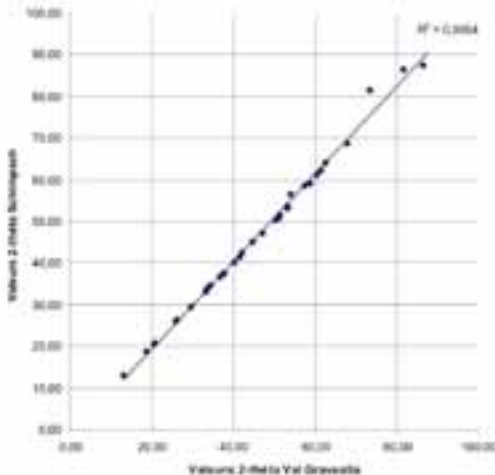
La chlorite se présente sous la forme de petits cristaux vermiculaires verdâtres inclus dans les quartz ou en recouvrant la surface (photo Ze083). La ressemblance par rapport au milieu de formation des quartz de Bastogne laisse à penser qu'il pourrait s'agir de la variété chamosite comme décrite par Hatert *et al.* (1996).



Graveglaïte, cristaux brun sur quartz et hématite échantillon de 7x5 cm (spécimen Ze111)



Graveglaïte, cristaux de 0,4 mm (photo de détail du spécimen Ze111)



Comparaison entre les données de diffraction x (valeurs 2-théta) de la graveglaïte de Val Graveglia et celle de Schimpach

Valeurs Val Graveglia		Valeurs Schimpach	
2 Theta	Intensity %	2 Theta	Intensity %
12.26	95	12.22	63
18.17	15	---	---
18.57	43	18.64	52
20.43	100	20.49	46
20.64	51	20.80	100
25.88	57	25.52	23
26.29	16	---	---
28.30	89	28.28	58
28.89	23	29.30	6
30.65	17	---	---
31.76	16	---	---
32.14	65	32.28	---
33.30	3	33.35	44
33.59	40	33.86	14
33.89	6	---	---
34.43	44	34.69	20
36.87	6	36.67	25
37.04	5	---	---
37.29	65	37.22	25
37.64	3	37.58	10
38.26	20	---	---
38.20	19	---	---
40.27	18	40.26	6
41.40	2	41.29	0
41.58	5	---	---
42.30	2	42.30	11
43.53	6	---	---
44.68	10	44.94	6
47.16	17	47.13	7
49.40	15	---	---
49.76	16	---	---
50.26	7	---	---
50.37	1	50.37	17
50.39	12	---	---
50.40	10	---	---
50.49	5	---	---
50.58	18	50.69	7
51.33	1	51.47	9
51.62	7	---	---
53.12	4	53.18	11
53.22	19	---	---
53.22	6	53.76	11
53.69	1	---	---
54.03	9	54.47	6
56.76	2	---	---
57.96	7	58.27	4
58.75	2	58.99	11

Données de diffraction de rayons x
Valeurs 2-théta et intensité relative de Val Graveglia
Valeurs 2-théta et intensité relative de Schimpach
(analyse réf.: SP23/2005)

Planche 1: Graveglaïte de Schimpach, Photos et spectre de diffraction x

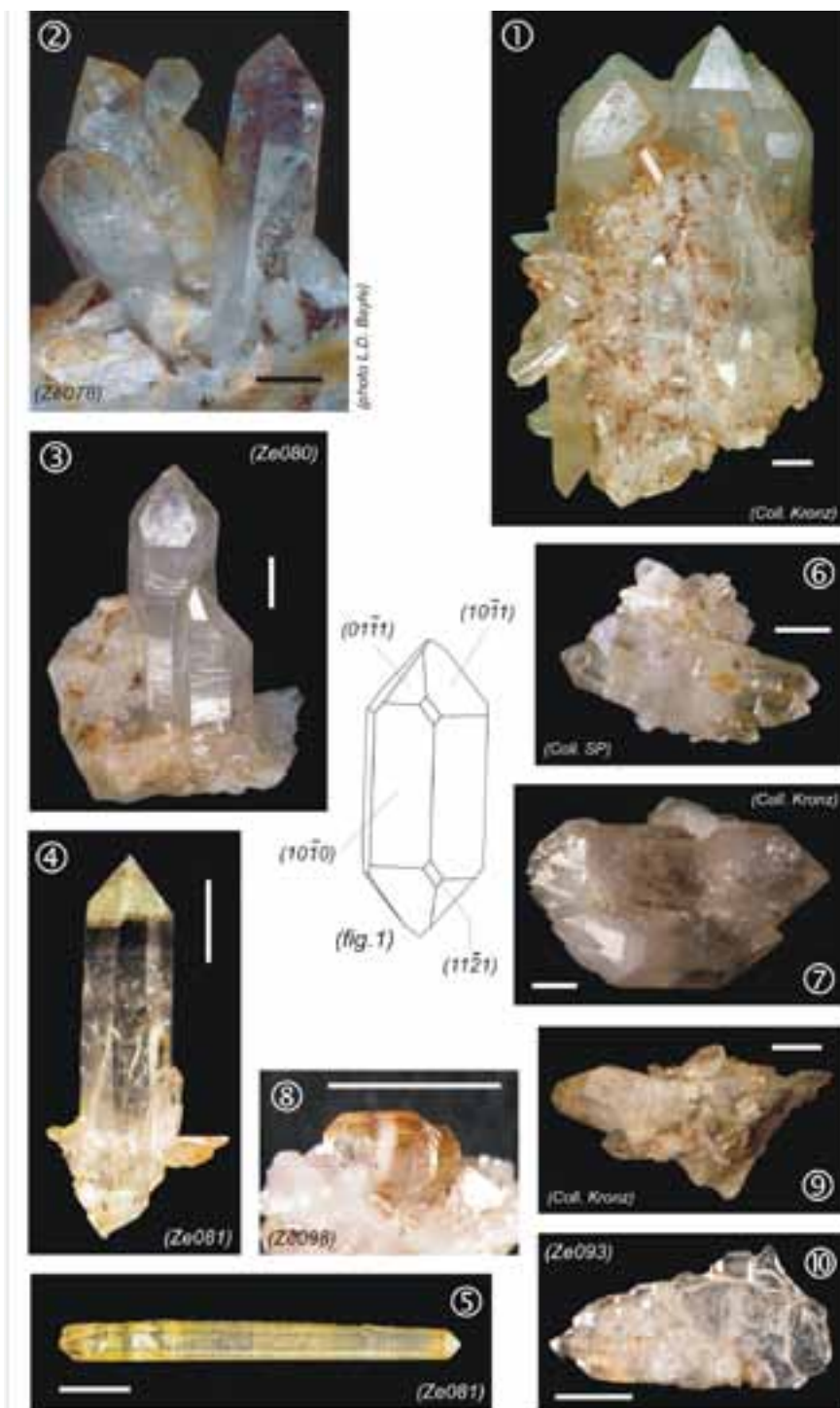


Planche 2: Quartz de Schimpach, Photos des différents habitus et facies et figure du quartz à faces s. (voir texte p. 105, la barre sur les photos = 1cm).

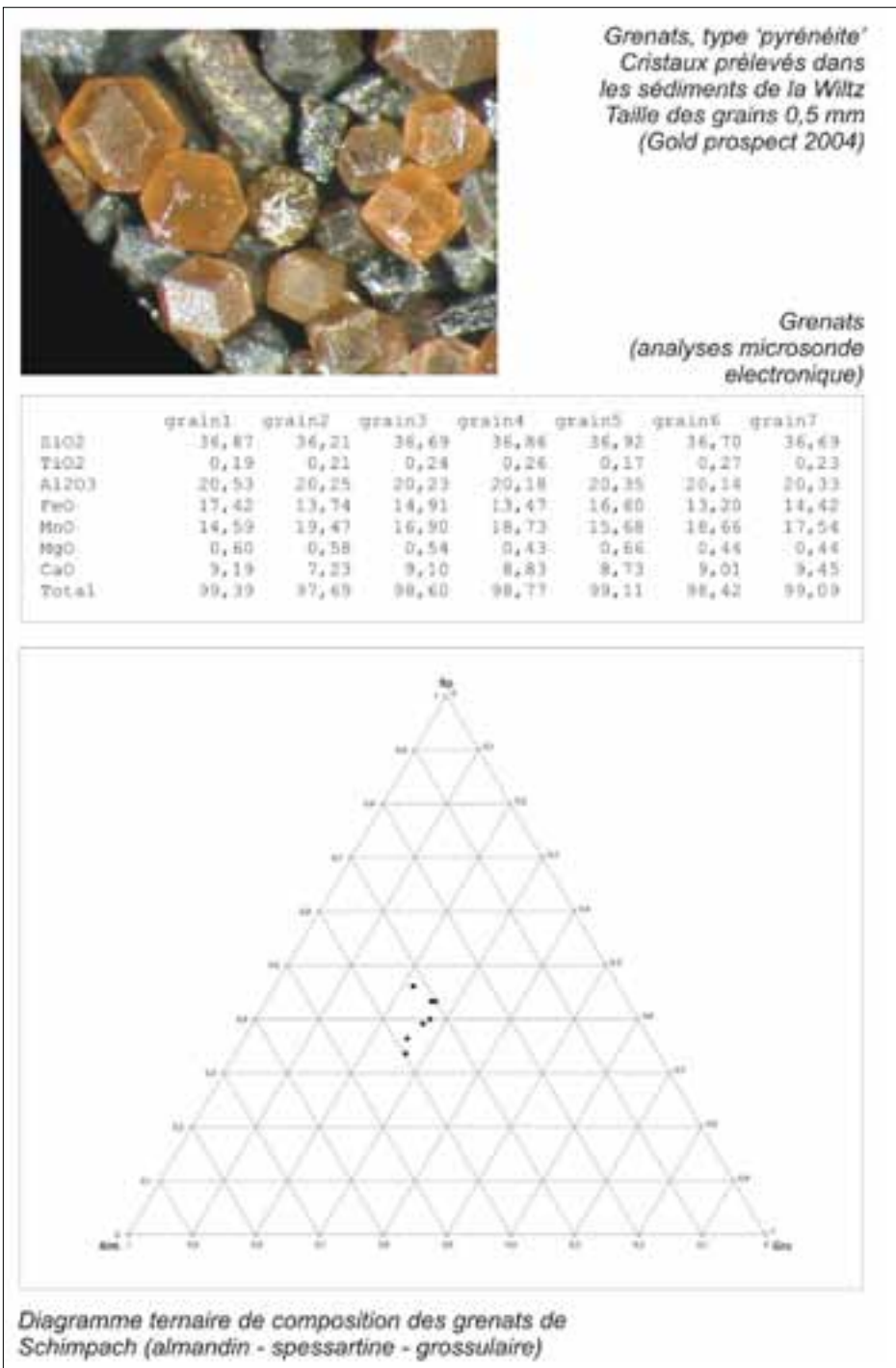


Planche 3: Grenats de variété 40% spessartine, 35% almandin, 25% grossulaire; présents dans la Wiltz à Schimpach. Cliché et analyses microsonde électronique.

5. Minéraux alluvionnaires de la Wiltz

5.1. Grenats, spessartine - almandin

Les cristaux récoltés dans les alluvions de la Wiltz à Schimpach sont des rhombododécaèdres b1 fort bien cristallisés, de couleur brune et dont la taille dépasse rarement les 5 mm (photo, Planche 3).

Ils sont dits de 'type pyrénéite'. Ce type de grenats décrit par de Bethune (1977) possède des inclusions accumulées le long des arêtes du rhombododécaèdre au cours de sa croissance trahissant son origine métamorphique. Le grenat est ainsi découpé par des plans d'inclusions laissant apparaître en coupe les axes de symétrie 3 ou 4 du cristal.

Des phyllades grenatifères ont été décrits à Bastogne par Stainier (1907), celles-ci sont observables dans les différentes carrières en activité de cette localité.

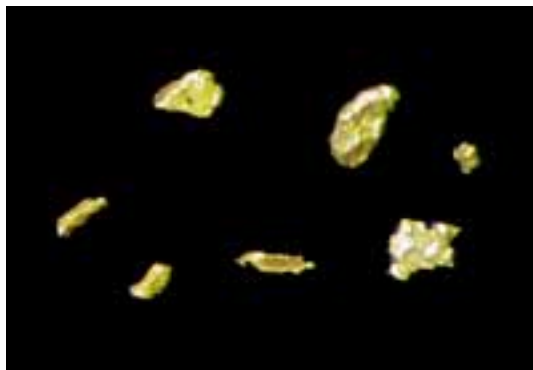
Les grenats trouvés dans la Wiltz à Schimpach ont été analysés par microsonde électronique à l'Université Catholique de Louvain (analyses Planche 3). Les analyses permettent de spécifier la variété de grenats: 40 % spessartine, 35 % almandin et 25 % grossulaire.

Un échantillon, provenant de Benonchamps, a été analysé avec les échantillons de Schimpach. Les analyses de celui-ci (grain 7, Planche 3) sont très proches des grenats de Schimpach. On peut donc supposer que cette localisation soit une des sources potentielles des grenats de la Wiltz à Schimpach.

Les minéraux accompagnateurs de ce type de roches ont été décrits par Billiet et van den Driessche (1937). Il s'agit des minéraux suivants: ilménite, zircon, sphène, clinozoisite, tourmaline et apatite. Certains de ces minéraux accompagnant les grenats dans nos fonds de batée, ils pourraient provenir de la même source.

5.2. Or, Au

L'or récolté au sluice dans le ruisseau se présente sous forme de paillettes inférieures au mm ayant une forme fortement découpée et très peu émoussée (photo). La plupart sont allongées et font en moyenne 0,1 mm de long. Seules quelques unes sont aplaties et font 0,4 mm de diamètre. Nous en avons récolté une vingtaine en plusieurs



jours de travail. Au regard de la forme parfois anguleuse des paillettes, leur origine est probablement proche mais sans doute peu productrice. Nous avons réalisé une prospection à la batée sur toute la longueur du cours d'eau, mais seul un point s'est avéré être un placer.

5.3. Pyrite, FeS₂

La pyrite se présente dans les fonds de batée sous forme de nombreux fragments et de rares cubes de 0,5 mm.

5.4. Rutile, TiO₂

On trouve quelques cristaux de rutile noir avec des nuances rouge en prismes striés rarement terminés de 0,4 mm

5.5. Zircon, ZrSiO₄

Le zircon se présente sous la forme de cristaux biterminés, mais émoussés, gris beige à incolore de 0,1 à 0,3 mm de long.

6. Conclusions

La prospection systématique sur le site de Schimpach et ses environs nous a permis de retrouver les quartz bien formés et limpides jusqu'à 8 cm' décrits par Lucius (1950). Non seulement, le MnhnL a maintenant en collection des spécimens encore plus grands avec un maximum de 12 cm mais surtout un échantillonnage de la variété des formes de ces quartz.

L'orientation des filons de Schimpach par rapport à la structure géologique générale des fractures

minéralisées en quartz dans la région nous permet d'établir un lien avec celles bien décrites dans la région de Bastogne.

La prospection alluvionnaire nous permet non seulement de décrire la première occurrence d'or alluvionnaire du Grand-Duché de Luxembourg mais également de décrire de très beaux grenats et d'en établir l'origine en Belgique. Concernant l'or, les paillettes étant peu émoussés, on peut supposer que le transport est de courte distance. Puisque l'occurrence d'or primaire la plus proche est à Bastogne (Hatert et al., 2000) en association avec les roches grenatifères, on peut prendre comme première hypothèse que l'or trouvé dans la Wiltz à Schimpach en provient

Mais l'élément prédominant de cette étude a été de décrire et de mettre en évidence la présence de gravegliaite. Ce minéral connu jusqu'aujourd'hui sur un seul site naturel au monde (Val Graveglia en Italie), a été trouvé au Grand-duché sur le site de Schimpach.

Remerciements

Nous tenons, par la présente, à remercier les propriétaires du terrain pour avoir laissé un libre accès du site au personnel du MnhnL et à ses collaborateurs.

Au professeur Jean Naud de l'UCL, pour les analyses de minéraux par diffraction de rayons x et à Jacques Wauthier pour les analyses à la microsonde électronique sur les grenats.

A Alain Hanson, pour la relecture de cet article et sa critique éclairée.

Bibliographie

- Antun P. 1971. - Le prolongement de la zone métamorphique de Bastogne au Grand-Duché de Luxembourg. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, 45: 101-111.
- Asselberghs E. 1946. - L'Eodévonien de l'Ardenne et des régions voisines. *Mém. Inst. Géol. Univ. Louvain*, 14.
- Basso R., Lucchetti G. & Palenzona A. 1991. - Gravegliaite, $MnSO_3 \cdot 3H_2O$, a new mineral from Val Graveglia (northern Apennines, Italy) - *Z. Kristallogr.*, 197: 97-106.

Beugnies A. 1986. - L'aire anticlinale de l'Ardenne dans la région de Bastogne. *Aardkundige Mededelingen*, 3: 31- 44.

Billiet V. & Van den Driessche A. 1937. - Grenats de la région de Bastogne-Libramont. *Bull. Soc. Belg. Géol.*, 47:222.

Brühl H.K. 1966. - Ein Betrag zur Geologie der Diegener schichten im Gebiet Laroche-Bastogne-Houffalize. *Geol. Mitteil.*, B5, 4S: 301-376.

Corin F. 1932. - A propos du boudinage en Ardennes. *Bull. Soc. Belg. Géol.*, XIII: 101-118.

De Béthune S. 1977. - Les minéraux de la zone métamorphique de Libramont. *Serv. Géol. Belg., Prof. Paper*, 1977/5, n°142.

Hatert F., Fransolet A-M., et Houssa M. 1996. - La titanite de Bastogne (Belgique) et les minéraux associés. *Bull. Soc. Roy. Sc. Liège*, V.65, 6: 387-397.

Hatert F., Deliëns M., Houssa M., et Coune F. 2000. - Native gold, native silver, and secondary minerals in the quartz veins from Bastogne, Belgium. *Sciences de la Terre*, 70, 223-229.

Hatert F., Deliëns M., Fransolet A.M., et Van der Meersche E. 2002. - Les minéraux de Belgique 2. Ed. *Museum des Sciences naturelles*, 304pp.

Jambor J.L. 1992. - New Mineral Names: Gravegliaite. *Am. Min.* 77: 672.

Jongmans D., & Cosgrove J.W. 1993. - Observations structurales dans la région de Bastogne. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, T116-1: 129-136.

Lambert A. & Bellière J. 1976. - Caractères structuraux de l'Eodévonien aux environs de Bastogne. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, T99: 99-297.

Lohest M. 1909. - De l'origine des veines et des géodes des terrains primaires de Belgique. *Ann. Soc. Géol. Belg.*, T36: B275-B282.

Lucius M. 1950. - Das Oesling. *Publ. Serv. Geol. Luxembg*, Band VI.

Stainier X. 1907. - Sur le mode de gisement et l'origine des roches métamorphiques de la région de Bastogne (Belgique). *Acad. roy. Belg., mém. In 4*, 2^{ème} sér., t1.

La minéralisation en antimoine de Goesdorf*

Simon Filippo

Musée national d'histoire naturelle
25, rue de Münster
L-2160 Luxembourg
sphilippo@mnhn.lu

Alain Hanson

Collaborateur scientifique du MnhnL
Département en Sciences et Gestion de l'Environnement de l'ULg
Université de Liège
185, Av. de Longwy, 6700 ARLON.
alain.hanson@ulg.ac.be

**Ergebnisse eines vom wissenschaftlichen Forschungszentrum des Nationalen Naturhistorischen Museums in Luxemburg durchgeführten Projektes.*

Résultats d'un projet de recherche réalisé par le Centre de recherche du Musée national d'histoire naturelle à Luxembourg.

Results of a research project conducted by the research centre of the National Museum of Natural History in Luxembourg.

Résumé

Le gisement d'antimoine de Goesdorf est très mal connu. A ce jour, aucune publication scientifique, hormis celle de Lucius en 1948, ne décrit ce site minéralogiquement exceptionnel. Pourtant, il s'agit là d'une des plus ancienne mine du pays car la première concession remonte à 1527.

Depuis 1997, le Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg s'intéresse au site. Les projets de recherche sur la mine et ses environs se succèdent: prospections géophysiques, levés géologiques et structuraux, prospection et analyses minéralogiques ... Le présent article est la compilation de l'ensemble de ces données. Une des pierres angulaire de cette publication est le travail de Diplomarbeit de Nies (2005). Ce travail a permis de

compiler les données du musée et de l'encadrer dans des levés de terrain complémentaires.

Des six espèces citées pour le site dans la publication de Kronz et Heinen en 1993 aux 34 identifiées à ce jour, un long travail de prospection, de recherche et d'analyse fait le lien. Un travail de collaboration entre le musée et les universités mais aussi entre le musée et ses collaborateurs scientifiques (professionnels ou amateurs).

Ce travail mettant en évidence une minéralogie insoupçonnée (chalcostibine, jamesonite, zinkénite, berthièrite, ...) permet de relier le site de Goesdorf aux travaux de Wagner et Cook (2000) sur des gisements équivalent du Rheinisches Schiefergebirge. Et ainsi de définir de nombreuses perspectives pour les recherches futures ...

Abstract

The antimony deposit of Goesdorf is very badly known. Until this day, no scientific publication, except the one of Lucius in 1948, describes this mineralogically exceptional deposit. However, it is one of the oldest mines of the country because the first concession was given in 1527.

Since 1997, the national Museum for natural history of Luxembourg is investigating this locality. Many research

projects related to the mine and its surroundings are being carried through: geophysical prospection, geological and structural surveys, mineralogical research and analysis... This paper is the compilation of all of these data. This publication is partially based on the graduation paper of Nies (2005). This work made it possible to compile the data of the museum and to frame it in complementary geological and structural surveys.

Between the six mineralogical species quoted for the site in the publication of Kronz and Heinen in 1993 and the 34 identified by today, lies a long work of prospection, research and analysis. The fruit of collaboration between the museum, universities and the collaborators of the museum (professionals or amateurs).

Zusammenfassung

Das Antimonerzvorkommen von Goesdorf ist bislang nur spärlich wissenschaftlich untersucht. Bis heute beschreibt keine wissenschaftliche Veröffentlichung, ausgenommen jene von Lucius im Jahre 1948 dieses mineralogisch außergewöhnliche Vorkommen. Handelt es sich hierbei doch um eines des ältesten Bergwerke Luxemburgs da die erste Verleihung der Schürfrechte auf das Jahr 1527 zurückgeht.

Seit 1997 untersucht das Naturhistorische Museum Luxemburg dieses Vorkommen. Es folgten verschiedene Projekte zur Untersuchung des Bergwerkes und der umgebenden Geologie: geologische, strukturelle und geophysikalische Untersuchungen sowie mineralogische Analysen...

Der vorliegende Artikel ist die Synthese der Gesamtheit dieser Resultate. Eckstein dieser Veröffentlichung ist die Diplomarbeit von Nies (2005). Diese Arbeit erlaubte die

This paper is putting into evidence an unsuspected mineralogy (chalcostibite, jamesonite, zinkenite, berthierite, ...) and allows to relate the Goesdorf deposit to the papers of Wagner and Cook (2000) on equivalent deposits in the "Rheinisches Schiefergebirge". And thus to define many research projects in the future...

vorhandenen Daten mit denen der zusätzlich erfassten Daten in einen Rahmen zu setzen.

Zwischen den sechs nachgewiesenen Mineralien in der Veröffentlichung von Kronz und Heinen im Jahre 1993, bis zu den 34, am heutigen Tage bekannten Mineralien, liegt viel Untersuchungs-, Forschungs- und Analysearbeit. Das Resultat der Zusammenarbeit zwischen dem Museum und den Universitäten, aber auch zwischen dem Museum und seinen wissenschaftlichen Mitarbeitern (professionelle oder Amateure).

Diese Arbeit, die eine unvermutete Mineralogie hervorhebt (chalkostibit, jamesonit, zinkenit, berthierit, ...) erlaubt, das Vorkommen von Goesdorf mit den Arbeiten von Wagner und Cook (2000) über entsprechende Vorkommen im Rheinischen Schiefergebirge zu verbinden. Und so zahlreiche Perspektiven für die künftigen Forschungsarbeiten zu definieren...

1. Introduction

La commune de Goesdorf se situe sur le plateau de l'Eisleck (490 m d'altitude) à 8 km au Sud de Wiltz (nord du Grand-duché de Luxembourg). Le nom de ce petit village de 240 habitants viendrait de 'Gießdorf' et signifierait étymologiquement "village des fondeurs". L'ancienne mine de Goesdorf se situe à 1 km à l'Est du village, sur une colline notée 'Weissenstein' sur les anciennes cartes. Ce qui signifie 'Weißer Stein', pierre blanche et correspondrait aux filons de quartz formant la gangue de la minéralisation.

Des traces de prospection remontent à l'époque romaine cependant la première concession a été délivrée en 1354. Peu de données sont connues quant aux volumes exploités. Certains documents signalent entre 1852 et 1854, des tonnages en minerai de première qualité de 67 tonnes et de 30 tonnes de minerai de moindre qualité. La teneur en antimoine de ce minerai est mal connue. De

nombreuses prospections ont eu lieu dans les environs mais sans succès. La mine a été définitivement fermée en 1944.

A Goesdorf, le minerai se présente sous la forme de filons de plus ou moins deux mètres d'épaisseur. Ils sont de direction est-ouest. L'antimoine est disséminé dans les filons composés de quartz squelettique avec des zones de "salbandes" (argiles compactes). Il se présente principalement sous la forme de stibine (Sb_2S_3).

Nous pouvons d'ores et déjà dire que la minéralisation en sulfures à Goesdorf est le résultat d'un processus hydrothermal de basse température ($\pm 200^\circ C$) par lequel se sont formés les minéraux comme le quartz, la pyrite, la stibine, les carbonates et la sphalérite.

Les minéraux tels que la valentinite, la sénarmonite, le soufre, la stibiconite et le gypse, se sont formés par altération supergène (réactions d'oxydation de type "gossan").

Des recherches minéralogiques ont été réalisées par le Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg et ses collaborateurs au cours de l'été 97 à Goesdorf sur le site de l'ancienne mine d'antimoine. Les fouilles ont été réalisées sur un ancien remblai proche du puit d'extraction (40 m de profondeur) datant de 1847 et sur les déblais devant la galerie d'exhaure. Elle a été poursuivie durant une semaine de fouille sur le site et 2 jours pour le transport de matériel et installation du site de fouille.

En parallèle une prospection géophysique (magnétique et électrique) a été réalisée de manière à compléter la connaissance géologique de l'encaissant et de cerner les extensions minéralogiques du filon.

2. Historique de la mine d'antimoine à Goesdorf

2.1. Les premiers indices d'exploitation

Yante (1982) a effectué un bon travail de synthèse sur l'exploitation de la mine de Goesdorf avant 1531. Il laisse ouverte la possibilité d'une première mise en valeur du minerai de Goesdorf par les Romains.

Il est probable que les Seigneurs d'Esch-sur-Sûre aient exploité la mine jusqu'à ce que cette dynastie disparaisse vers 1300.

Le 7 décembre 1354, le duc Wenceslas I^{er} donne aux nouveaux Seigneurs d'Esch-sur-Sûre le droit d'exploitation. Mais Yante (1982) signale que cette affirmation n'a pas été prouvée. Il est également possible, selon Lucius (1948) qu'une exploitation du site ait été faite par les comtes de Neuenaar, de Horn et/ou de Mansfeld.

2.2. La concession de Henry de Vance (1527-1531)

Le 5 décembre 1527, la concession est accordée par Charles-Quint à Henry de Vance, originaire d'Arlon, et à Nicolas Fritag, originaire de Vaudrevange sur la Sarre, qui a apporté son savoir-faire (Yante, 1982). Cet octroi de Charles Quint, dont voici un extrait ci-dessous, est la première source

écrite certaine d'exploitation de la mine d'antimoine de Goesdorf.

'Consentement et octroy fait a Nicolas Fritag de Walderfingen et Henry de Vance, maistres ouvriers de mynes, de povoir descouvrir, ouvrir et sercher tous métaulx, mineraulx en certaine montaignes prouchaine du villaige de Goestorff, soubz la seignourie d'Esch gisant sur la Sourre, dependant de la chastellenie et prevosté d'Arlon, pays de Luxembourg, ...'

H. de Vance et N. Fritag demandent à leur souverain les mêmes franchises et privilèges qui ont été accordés aux mineurs du duché de Limbourg, des Pays d'Outre-Meuse ou d'Allemagne. Le souverain leur donne la concession sur tous les minerais métallifères (cuivre, plomb, fer, azurite, or et argent) sous condition de ne pas interrompre les travaux pour plus de six semaines et trois jours, que l'état des travaux soit déclaré au receveur d'Arlon et que les concessionnaires versent la dixième part du métal affiné au duc de Luxembourg.

Ils sont à la recherche d'argent, d'or, de cuivre et de plomb mais ils sont vite déçus de ne trouver que du minerai dont ils ne peuvent profiter. L'exploitation est entre autre gênée par Otton, Seigneur de Bourscheid et d'Esch, malgré l'article de l'octroi qui stipule que les deux associés sont placés sous la sauvegarde spéciale du duc de Luxembourg. Les concessionnaires obtiennent le droit d'élire un prévôt ou justicier de mines, qui doit s'occuper des injures verbales et des délits miniers. En 1529-30, la mine de Goesdorf apparaît pour la première fois dans la comptabilité domaniale d'Arlon. On a expédié du minerai à plusieurs spécialistes dans plusieurs pays, de même qu'on a fait *'appel à des étrangers pour édifier fourneau, moulin et autres constructions nécessaires à l'entreprise'*. Les exploitants trouvent de l'or, mais seulement 25,28 g. En 1530-31, les travaux sont arrêtés parce qu'on n'a pas encore pu trouver quelqu'un qui puisse tirer profiter du minerai. Jusque là, les concessionnaires ont investi plus de 4.000 florins dans la mine déficitaire, dont ils croyaient qu'elle contenait de l'argent. Voilà pourquoi l'octroi est révoqué et la mine redevient possession du souverain.



Fig. 1: Page de garde du rapport du sous-intendant de Diekirch au gouverneur du Grand-duché de Luxembourg rédigé en date du 25 février 1819.

2.3. Réclamation des droits miniers par les seigneurs d'Esch-sur-Sûre

Philippe Alexis du Bost-Moulin, Seigneur d'Esch-sur-Sûre, déclare, le 10 novembre 1681 au Parlement de Metz à propos des mines de Goesdorf :

'Item je tiens ce fief par patente des archiducs; les minières de dans la terre d'Esch, et autres lieux, lesquelles minières s'estant jusqu'à présent trouvées fausses, elles sont délaissées et inutiles'.

Entre 1743 et 1745, Charles du Bost-Moulin repris l'exploitation. Pendant cette période, on a probablement trouvé une veine composée d'argent et d'antimoine, mais les ouvriers faisaient semblant de ne pas l'avoir vue, parce qu'ils avaient entendu que leur patron voulait fermer la mine. Ils voulaient attendre et exploiter eux-mêmes cette veine. Mais, on a fermé tous les accès, de façon à ce que les ouvriers ne puissent plus se rendre sur les lieux pour l'exploiter.

En 1818, le comte de Fürstenstein (le Baron Doyen), propriétaire des forges de Bissen, examine les travaux et les trouve en bon état. Cependant, il ne fait pas de nouvelles recherches.

Le 25 février 1819, le sous-intendant de Diekirch relate sa visite de la mine au gouverneur du

Grand-duché de Luxembourg et en parle comme d'une mine d'argent (Figure 1). Le sous-intendant fait remarquer qu'il n'y a pas de documents écrits concernant celle-ci et que la tradition orale commence à se perdre.

2.4. Refus de concession à la 'Société du Luxembourg' (1827-1830)

Dès 1827, la société du Luxembourg (canal Meuse-Moselle) fait des recherches et demande, le 7 janvier 1830, une concession sur *soixante douze bonniers, deux perches, soixante-trois aunes*, qui n'est pas accordée à cause de la révolution belge. Un cahier des charges est envoyé à la 'Société du Luxembourg', le 18 septembre 1830 par l'Ingénieur des Mines Wirz. Selon les informations de la société, les travaux de recherche auraient coûté 30.000 francs. Un habitant du village, Wilhelm Koetz, redécouvrit la veine comportant de l'argent et de l'antimoine. On commença à l'exploiter et le minerai fût transporté dans une grande pièce de la maison dite «Sonntag» (4, op der Tomm), où il resta jusqu'à l'échec de la société en 1831. Aux environs du carrefour Goesdorf - Heiderscheidergrund - Goebelsmuehle se trouvait une forge

appartenant à la Seigneurie d'Esch-sur-Sûre. Là, on purifiait et fondait le minerai. L'église d'Esch-sur-Sûre en obtint quelques chandeliers, tandis que l'église de Goesdorf obtint, entre autres, un ostensor et un encensoir en argent.

2.5. La concession de Hartmann & Cie (1847-1862)

L'arrêté Grand-ducal Nr 631b du 21 mars 1847 accorde le droit d'exploitation sur un terrain de 750 ha à une société fondée par Guillaume Kaempff (négociant), Pierre Kaempff (orfèvre), Charles Hartmann (industriel de Paris), Maurice Moris (médecin à Diekirch), Jean Fischer (chef magasinier), Charles G. Kind (ch. Porion), Michel Hilger (huissier de justice à Luxembourg) et Auguste Fischer (huissier de justice à Luxembourg). Le cahier des charges avait cependant déjà été établi le 12 décembre 1845 par l'ingénieur en chef Wirtz. Il existe une note très intéressante sur les travaux de 1847 à 1854, établi conformément au registre de la société, par un certain Monsieur Weyer, comptable de l'entreprise. Conformément à ses indications, les travaux de fouilles amènent à notre connaissance l'existence de deux filons parallèles, de direction N108°E et de pendage oscillant entre 65° et 75° S. Ces filons sont séparés l'un de l'autre par distance de 'deux heures', soit approximativement 6 à 8 m d'un Grauwacke très durs. Des veines mineures du minerai apparaîtraient de temps en temps dans ce Grauwacke. Il semblerait que les mineurs ne s'y soient toutefois pas arrêtés. Chacun des filons se présente, conformément au rapport, de la manière suivante: une épaisseur de 2 à 3 m et de l'argile assez douce avec des veines du minerai d'antimoine, de la pyrite et du quartz friable. Les Salbandes 'Salbänder', se situent à l'interface entre le filon et l'encaissant. Elles se composent d'argile plastique. Les veines d'antimoine, bien que continues, changent toutefois de puissance et de teneur presque chaque demi-mètre. Conformément au même rapport, en 1854, alors que la société a mis la mine au ralenti, on retiendra l'image suivante du réseau de galeries : il existe deux puits d'extraction dans le gisement, séparés l'un de l'autre de 18 m et tous deux de 38,50 m de profondeur. De ces puits, cinq galeries superposées, sont creusées dans la direction du filon minéralisé. La plus profonde d'entre elles se situe à 37 m sous la surface du sol.

Un de ces puits a été continué par un forage qui a abouti à la galerie d'exhaure de l'exploitation, qui s'est trouvée à 69 m sous la surface de sol. Une galerie de jonction a permis de mettre en relation le puits d'extraction et la galerie d'exhaure, longue de 279 m et creusée dans la pente de montagne au sud des puits, et de dévier ainsi l'eau contenue dans les galeries (Figure 2).

L'extraction des produits de la mine se faisait par le puits au moyen d'un treuil mu à bras d'homme. C'est lors de ces travaux qu'il y a le premier accident mortel dans l'histoire connue de la mine: Le 16 novembre 1849, Paul Reuter, âgé de 32 ans, habitant de Nocher, tombe dans le puits d'extraction. Le 9 janvier 1849, l'ingénieur en chef Wirtz se rend sur les lieux afin de voir l'état des travaux. Le 19 janvier 1849, la société demande l'autorisation de construire une fonderie et Guillaume II donne son accord, sous condition qu'une cheminée d'au moins 15 m de hauteur soit construite, condition qui n'est jamais réalisée. La maison ('*Minnenhaus*') était construite en quelques semaines pour fondre le minerai et pour abriter les 32 ouvriers travaillant à la mine, de même que leurs outils de travail. (Les ouvriers viennent entre autres de Nocher, Goesdorf et Esch) Les propriétaires voulaient pour eux-mêmes construire une villa dont les traces sont encore visibles aujourd'hui (dépression de terrain près de la maison des ouvriers). Cette villa n'a jamais été terminée probablement parce qu'on s'est rendu compte assez rapidement que la mine n'apporterait pas le profit estimé. De 1852 à 1854, on a extrait de la mine 67 tonnes de minerai de première qualité et 30 tonnes de minerai de deuxième qualité. En 1853 le minerai est analysé par F. Reuter. Néanmoins, les travaux sont arrêtés, faute de profit: les dépenses dépassent les recettes de plus de 10.000 francs pour la période du 1^{er} janvier 1853 au 1^{er} juin 1854. Le manque de profits résultant essentiellement de problèmes de transport. En effet, les gares les plus proches étaient, au Sud, Luxembourg et au Nord Spa. En plus, il semble que les concessionnaires ne pouvaient plus trouver des accords entre eux.

Le 27 juin, Guillaume Kaempff et G. J. de Marie introduisent une nouvelle demande en concession pour leur propre compte.

Entre 1858 et 1862, seuls quatre hommes travaillent sur le site car la mine n'est pas rentable. Le 28 juillet 1859, il y a l'assemblée générale des actionnaires à Luxembourg, à l'hôtel de ville. En 1862, la société

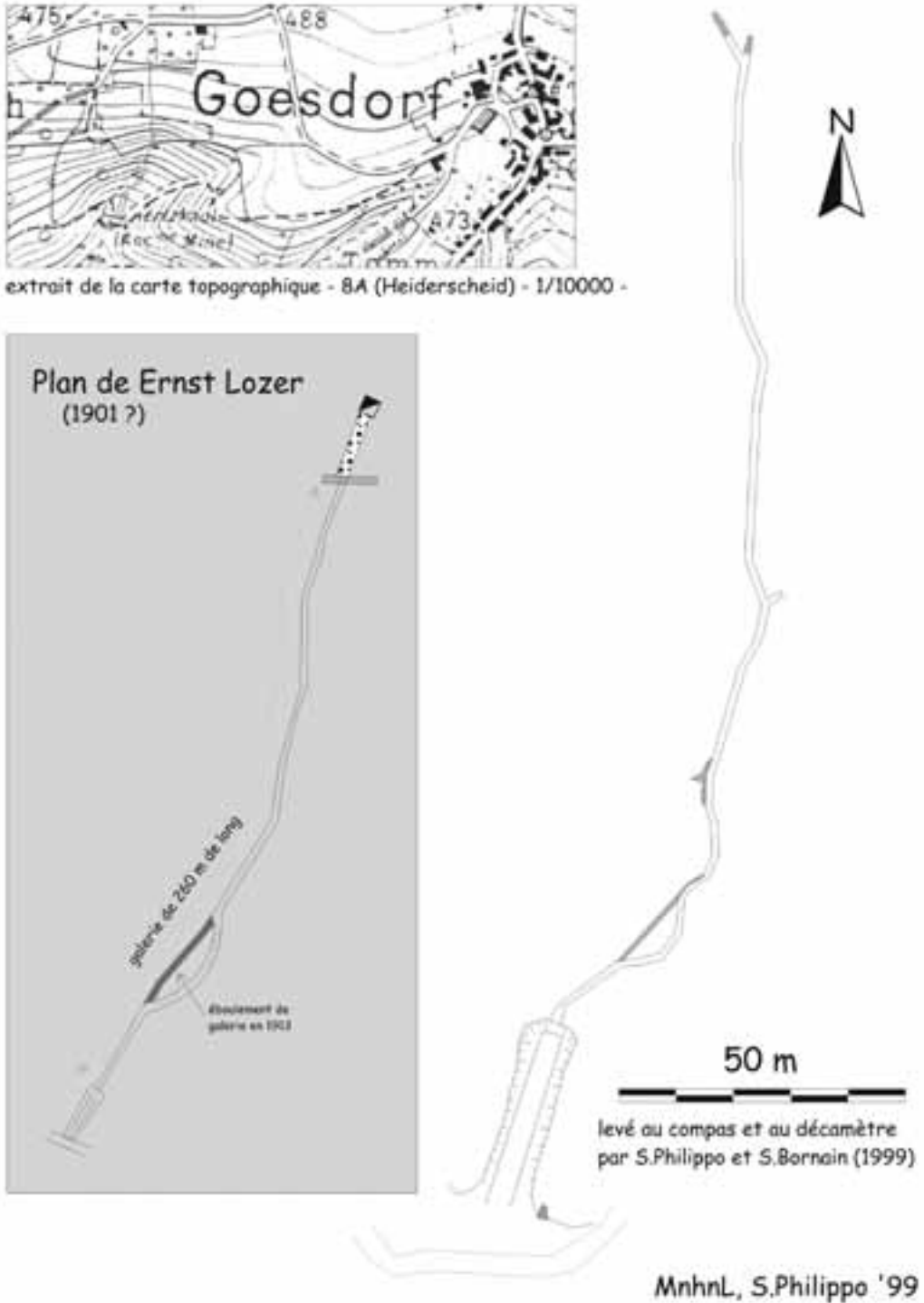


Fig. 2: Plan de la galerie d'exhaure de la mine de Goesdorf et localisation sur fond topographique.

abandonne définitivement les travaux à Goesdorf, parce que les recettes n'arrivent jamais à dépasser les dépenses (Lucius, 1948)

2.6. Demande en concession de la Banque Bielefeld & Cie (1870-1887)

En 1870, Auguste Fischer, tanneur à Wiltz, achète la mine en adjudication publique au prix de 400 francs. Il ne tarde pas à la revendre à la Banque Bielefeld et Cie d'Aix-la-Chapelle qui l'achète au prix de 1.000 francs (selon l'acte de vente du 06 novembre 1885, passé devant le notaire Mertens de Wiltz).

Depuis 1883, J. J. Westhofen de Flammersheim (probablement mandataire de la Banque Bielefeld & Cie) essaie d'obtenir la concession. Il la demande pour 2.800 ha et fait des recherches non seulement à Goesdorf mais aussi dans la Menersbach près de Kaundorf, à Schlierbach et à Bockholtz.

Le 30 décembre 1885 et le 23 mars 1886, la Banque Bielefeld & Cie demande la concession sur 3.175 ha. En 1887, la Banque Bielefeld & Cie est déclarée en faillite, alors que la demande en concession n'a pas encore aboutie.

2.7. La «Luxemburger Antimonwerke» (1892-1902)

Westhofen, travaillant avec six hommes, devient propriétaire le 21 mars 1892. Il effectue de nombreux travaux de recherche (Lucius, 1948) mais il n'obtient pas de résultats satisfaisants. Il creuse notamment une galerie à Bockholtzermuehle, sur la rive gauche de la Sûre, au bord de la route menant vers Goebelsmuehle. Celle-ci a une longueur de 95 m en direction NE-SW/65° et une largeur de 2 m pour une hauteur de 2,2 m. C'est M. Jean-Pierre Deckenbrunnen qui l'a redécouvert d'après les mémoires qu'il avait des récits de son père.

Résultats des travaux de fouille de Westhofen dans les environs de Goesdorf:

Dans le Manerbach au NNE du village de Kaundorf, un puits de 11 m de profondeur a été creusé, au fond duquel un filon de 0,30 m de quartz a été trouvé. Le quartz contient des cristaux de la pyrite et du minerai d'antimoine. Depuis le puits, une galerie de 6 m de direction

nord a été creusée. Au fond de celle-ci un autre filon de quartz de 0,90 m, de direction O-E et de pendage 45° E a été signalé. Dans le quartz, on notera la présence de cristaux de pyrite.

Dans le Schlierbachtal, à l'ouest de Goesdorf, une galerie a été ouverte, à gauche de la route après Büderscheid, 100 m en amont du moulin (scierie). La galerie est orientée O-E, à l'intérieur de laquelle ils trouvent une minéralisation de pendage 55°S. La minéralisation est constituée de quartz, avec des injections de blende et des traces de chalcopryrite. A 47 m de l'entrée de la galerie, un puits a été creusé en suivant la minéralisation; l'inclinaison est de 47°S. A 60 m de l'entrée de galerie, un deuxième puits a été creusé en suivant la minéralisation. La longueur totale de la galerie est de 77 mètres. Aucune autre minéralisation n'est signalée. Dans la même vallée, à 40 m en amont du moulin, également dans la pente de la colline, à gauche de la route après Büderscheid, une seconde galerie d'une longueur totale de 13 m a été creusée. Une veine de pyrite de direction E-O et de pendage 75°-80°S est signalée. A 400 m à l'ouest de cette seconde galerie on mentionne un puits de 20 m de profondeur à la base duquel une galerie de 15 m de long et de direction NW a été creusée. On y signale des veines de quartz avec de la pyrite. Dans la même vallée et toujours du même côté de la route, à 200 m au nord du moulin, une galerie de 14 m de long est signalée mais sans informations quant à son contenu. Une dernière galerie de 205 m de long est signalée dans cette vallée, à 800 m au nord du moulin, dans laquelle une minéralisation de direction NNE-SSO avec un pendage de 85°S a été observée. Celle-ci contenait de la galène, de la blende et de la chalcopryrite.

Dans la Sauertal près de Bockholtz, sur la rive gauche de la Sûre, au bord de la route Esch - Goebelsmuehle, à 800 m à l'est du village vers Bockholtz, une galerie de 95 m de long a été creusée. Un filon de direction NE-SO et de pendage 65°S est signalé. Celui-ci contiendrait des traces de cuivre et de plomb. Une autre galerie de 20 m de long, se trouve le long de la même route, sur les hauteurs du village de Bockholtz. Elle contiendrait un filon de direction NNE-SSO et de pendage 85°S dans lequel on signale des traces de galène, de blende et de chalcopryrite.

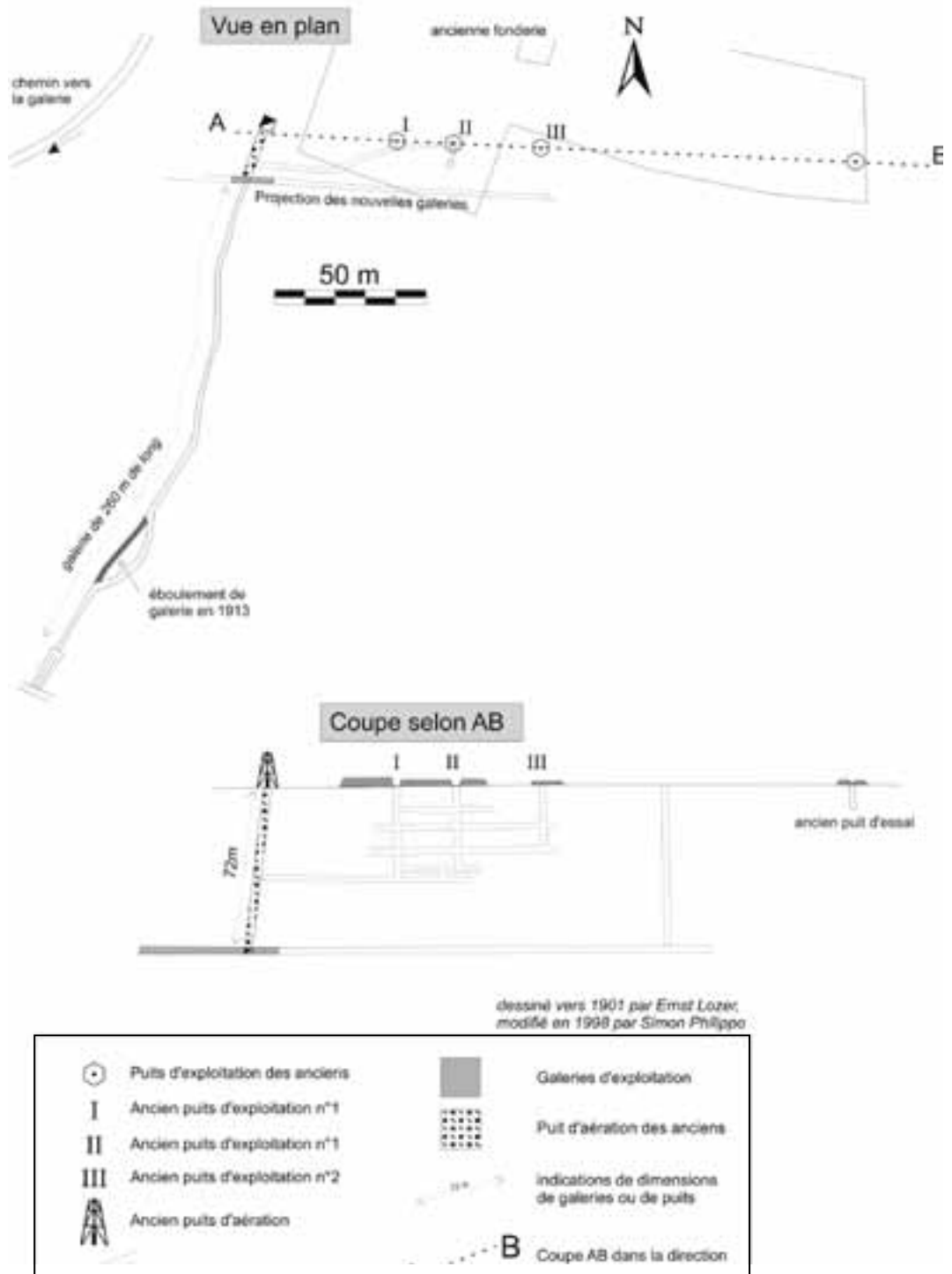


Fig. 3: Vue en plan et en coupe de la mine de Goesdorf dessiné par Ernst Lozer aux environs de 1901 et modifié en 1998.

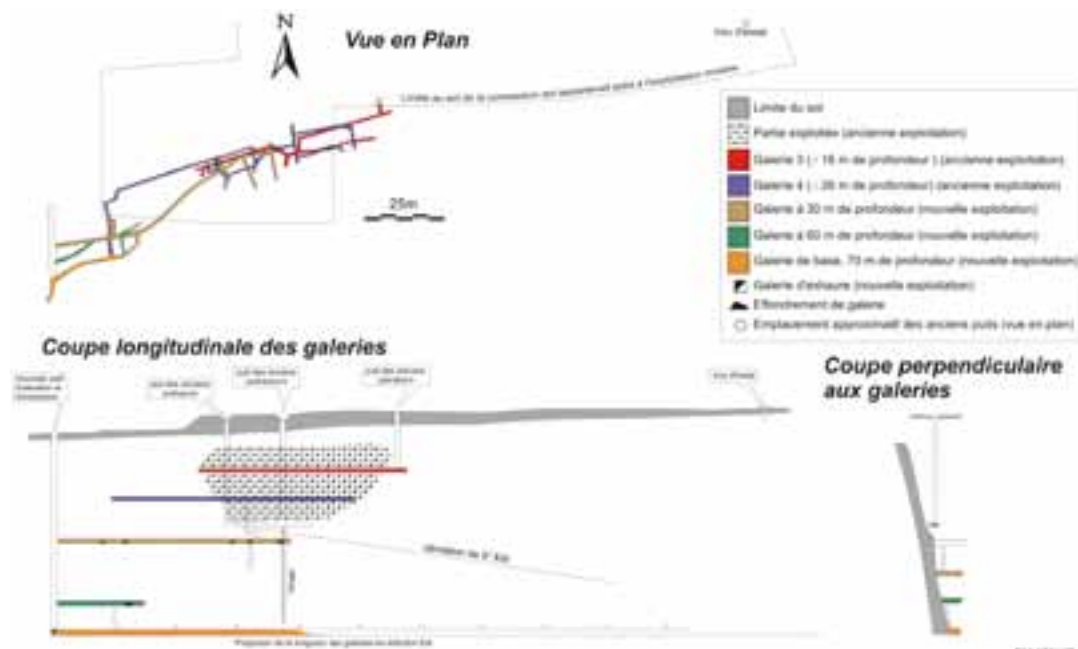


Fig. 4: Vue en plan et en coupe de la mine de Goesdorf tirée de M. Lucius (1948), compilation des données de Lozer et de Weyer. Retracer en mis en couleur en 1998.

Le 26 octobre 1892, le garde-mine du district de Diekirch déclare dans un relevé que la mine d'antimoine à Schlierbach sur la route Wiltz - Heiderscheidergrund, appartenant à Westhofen n'est pas en activité.

En 1899, Jos. Brassel travaillant pour Westhofen informe le Ministère des travaux publics que la 'Luxemburger Antimonwerke' créés à Cologne veut la concession.

En 1901, La 'Luxemburger Antimonwerke' (E. Lozer et consorts) de Cologne s'accapare la concession et veut acheter la mine avec un capital de base de 200.000 Mark. Les concessionnaires ont fait des recherches et repris l'exploitation de petites quantités de minerai. La galerie d'accès est refaite et reboisée sur une longueur de 260 m (Figure 3 et 4). Une galerie de contournement d'un éboulis est réalisée à 30 m de l'entrée, des rails pour les Lorrys sur lesquelles le minerai est transporté vers la sortie, sont posées (ce qui n'est pas sûr d'après les souvenirs de M. Wiseler). À la fin du mois d'avril 1902, l'Ardenner Zeitung informe ses lecteurs qu'on ne travaille plus depuis un certain temps dans les mines de Goesdorf. La 'Luxemburger Antimonwerke' ne possède pas encore la mine

et ne peut l'acheter à cause de sa faillite déclarée le 24 août 1902. En avril de la même année il y a un procès contre deux des actionnaires qui sont accusés de ne pas avoir payé les salaires.

En 1902, Westhofen meurt et la mine revient à sa fille habitant à Bruxelles. Monsieur Berger, son mari, ne s'intéresse pas à l'exploitation et ce sont les deux filles de ce mariage qui héritent de la mine abandonnée.

Selon Campill (1918), Georges Gaston Stéphan Marcellin de Diekirch aurait effectué des recherches à Goesdorf durant l'année 1914.

En 1929, les héritiers Berger-Westhofen et le Baron Van Cuyck forment une nouvelle société et reprennent les travaux sous la direction de l'ingénieur H. Cuylyts. On ouvre la galerie d'accès sur 90 m.

2.8. La concession de Ries, Hirt et Cambier (1934-1938)

Le 07 décembre 1934, les travaux ont repris sous la direction de J. Hirt. La première année, on fait surtout des recherches sur la méthode d'extraction

et la rentabilité, mais c'est cette même année qu'un bloc de 52 kg riche en antimoine est trouvé. Il est analysé à Paris, où on constate que le bloc d'antimoine de Goesdorf est le plus grand qui ait été trouvé à cette date.

Le 14 décembre 1936, trois hommes demandent la concession: il s'agit de Nicolas Ries, Joseph Hirt (tous deux de la fabrique d'accumulateurs Tudor à Heverlée - Louvain) et René Cambier (ingénieur de mines de Bruxelles). Ils l'obtiennent par l'Arrêté Grand-ducal du 22 février 1938 sur base du cahier des charges datant du 16 février 1938. Les principales conditions de l'Arrêté sont la reprise des travaux d'exploitation endéans les six mois et l'interdiction d'une interruption de ceux-ci pendant plus d'une année. Faute de capitaux, les concessionnaires tardent de les reprendre et le 23 décembre 1938 l'Arrêté Grand-ducal est révoqué suite à la lettre adressée au Ministre du Travail et datée du 04 février 1938, dans laquelle Ries, Hirt et Cambier renoncent à leurs droits. Le cahier des charges prévoyait l'aménagement d'un puits d'aération et de secours muni d'échelles et d'un treuil d'extraction aboutissant à la galerie d'accès. Les concessionnaires étaient priés de veiller à la sécurité et à la santé de leurs ouvriers qui étaient, dans la mesure du possible, de nationalité luxembourgeoise. De plus, les recherches devaient se faire surtout en profondeur. Les propriétaires des terrains obtenaient 5% du bénéfice et devaient être remboursés par la société lors de dégâts répercutés en surface.

2.9. Les derniers intérêts pour le site

De 1940 à 1944, les occupants allemands s'intéressent à la mine mais n'y font cependant pas de recherches sérieuses. Il semble que cet intérêt fut le plus grand en été 1944. La bataille des Ardennes (hiver 1944) a interrompu toute possibilité de poursuite de travaux de recherche sur le site.

En 1949, l'ingénieur Miguel Steffen signale que le minerai à Goesdorf est loin d'être exploité dans sa totalité. En plus il suppose qu'une quantité considérable, jusqu'ici méconnue, de minerai d'antimoine se trouve près d'Esch-sur-Sûre.

Après cette date, il semble que la mine soit tombée dans l'oubli sauf que, d'après les dires des habitants du village, quelques étrangers l'ont visité, mais ces visites n'ont pas eu plus de suites que des rumeurs.

Ce n'est qu'en 1998, année de la réouverture, que la mine occupe de nouveau un rôle important dans le village.

La galerie d'exhaure de la mine a été réouverte sur 30 m en date du 24 juillet 1998 par des personnes consacrant leur fin de semaine à cette cause. Il semble, que la mine va dans l'avenir surtout servir d'attraction scientifique et touristique.

D'après les informations fournies par M. Emile Wiseler, habitant de Goesdorf et âgé de 78 ans, il n'y a plus (pas) eu de rails dans la galerie principale peu avant la cessation définitive des travaux en 1938. Il ne parle que d'un treuil à main qu'il y avait dans cette galerie et qu'il a vu en accompagnant son père. Les rails dont parlent plusieurs auteurs ont donc été enlevés (dans la période entre 1901 à 1938) ou bien elles n'ont pas existé. Les galeries étaient étayées à l'aide de bois de sapin. On montait le minerai à l'aide de seaux jusqu'au treuil où il était versé dans des récipients plus grands suspendus à un câble en acier. De là, on les tirait jusqu'à la sortie. Le minerai était transporté à la fonderie dans des brouettes et non pas sur des chars à boeufs comme l'indique le 'Luxemburger Wort' (1977) dans son article: 'Der Berg hütet seinen Schatz'. En ce qui concerne les objets qu'a reçu l'église, M. Wiseler parle de 2 ou 3 lustres en argent et antimoine. Ces lustres ont disparu par la suite, comme d'ailleurs plusieurs choses précieuses de l'église de Goesdorf.

Documents répertoriés par ordre chronologique

1819/2/17: Lettre du gouverneur au sous-intendant concernant sa visite à la mine 'd'argent' de Goesdorf.

1819/2/25: Réponse du sous-intendant

1827/10/3: Rapport de Delneufcour sur le résultat de la surveillance des travaux exécutés dans le 4e district des mines pendant le 3e trimestre de 1827

1830/1/7: Demande en concession de la Société du Luxembourg.

1830/9/18: Cahier des charges.

1830/9/24: Lettre à l'administrateur dirigeant concernant la demande en concession.

1847/5/11: Exercice 1847, redevances fixes et proportionnelles.

1847/5/11: Redevance fixe sur les mines.

- 1849/1/3: Lettre de l'administration des Travaux publics adressée au Bourgmestre de Goesdorf datée du 5 janvier 1849 (n°42) et ayant pour objet l'installation d'une fonderie d'antimoine à Goesdorf.
- 1849/1/23: Arrêté par Guillaume II autorisant objet l'installation d'une fonderie d'antimoine à Goesdorf daté du 23 janvier 1849.
- 1849/11/7: Lettre de l'ingénieur en chef à l'Administrateur Général.
- 1849/11/19: Lettre de l'Ingénieur en chef à l'Administrateur Général concernant l'accident mortel de Paul Reuter.
- 1849/11/28: Lettre de l'Ingénieur Général en chef concernant l'accident de Paul Reuter.
- 1849/12/21: Lettre de l'Administrateur Général à l'Ingénieur en chef.
- 1850/1/11: Lettre à l'Ingénieur en chef concernant le calcul des redevances pour l'année 1849.
- 1850/1/14: Lettre de l'Ingénieur en chef à l'Administrateur Général, redevances.
- 1850/1/31: Etat des déboursés faits dans le courant de l'année.
- 1850/2/13: Lettre de l'Ingénieur en chef à l'Administrateur Général.
- 1852/8/2: Lettre des syndic de la Société des mines d'antimoine de Goesdorf à l'Ingénieur en chef.
- 1852/8/10: Lettre de l'Ingénieur en chef à l'Administrateur Général, dépenses et recettes.
- 1852/8/12: Loi du 14/8bre/1842, concernant les mines, minières et carrières.
- 1853/1: Arrêté concernant les redevances à payer.
- 1854/7/3: Lettre de l'administration des Travaux publics à l'Administrateur Général des travaux publics datée du 3 juillet 1854 (n°2286) et ayant pour objet l'obtention d'une concession pour l'exploitation des mines d'antimoine de Goesdorf.
- 1854/9/1: Lettre de l'ingénieur en chef à l'Administrateur Général.
- 1885/12/30: Plan d'une galerie d'exploration le long de la Sûre (Sauer) le long de la Chaussée vom Heiderscheidergrund (Eisenbachstation - Goebelsmühle), Echelle 1/500, signé par J. Bielefeld, 30 déc. 85 (?) à Aachen
- 1892/10/26: Relevé indiquant les carrières souterraines situées dans la commune de Mecher. - manuscrit
- 1913: Plan et coupe AB de l'exploitation à l'échelle 1/1000 datant d'après 1913 (pas de date exacte signé par Ernst Loser
- 1938/2/18: Cahier des charges pour l'exploitation de la concession de Goesdorf daté du 18 février 1938.
- 1938/3/5: Mémorial du Grand-duché de Luxembourg n°15 du Samedi 5 mars 1938. 'Arrêté grand-ducal du 22 février 1938, accordant une concession pour l'exploitation de la mine d'antimoine de Goesdorf', page 236
- 1994: Extrait du plan cadastral de la commune de Goesdorf, Section F de Goesdorf, Echelle 1/2500, Exercice 1994, référence VE dont le titulaire est 'Goesdorf la fabrique d'église' 745/2029 mais. pl. 28a20ca (en double exemplaire)

3. Géologie de la minéralisation

Les roches de la région de Goesdorf sont des sédiments d'âge Siegénien supérieur (Sg3) et Emsien moyen (E1a). Les schistes du Sg3 sont appelés 'Grobschiefer' par Lucius (1950). Il s'agit de schistes rugueux avec de nombreux bancs de grès dans lesquels on rencontre fréquemment des structures de type ripple-marks ou loadcast. Les schistes du E1a sont appelés 'Schiefer von Stolzburg' par Lucius (1950). Il s'agit de schistes gris rubanés sableux ou silteux avec de rares bancs quartzeux.

La zone de Goesdorf se situe sur le flanc nord de l'anticlinorium de Givonne - Oesling. Dans cette zone, on distingue une succession de 3 anticlinaux de vergence nord: celui de Schliebachtal, celui de Esch / Sûre et celui de Eschdorf - Bourscheid (Konrad et Wachsmut, 1973). En plus, une série de plis couchés et cisailés de 3^{ème} ordre sont observables à l'affleurement (Nies, 2005). La Figure 5 présente, de manière résumé, les données géologiques de la zone autour de Goesdorf. Pour ne pas surcharger cette figure, seul l'anticlinal d'Esch / Sûre a été tracé.

Une nouvelle campagne de cartographie a été réalisée, dans le cadre du Diplomarbeit de N. Nies en 2005, sur une zone d'approximativement 30 km² autour de Goesdorf. Les résultats de cette campagne sont présentés sur la carte de la figure 6.

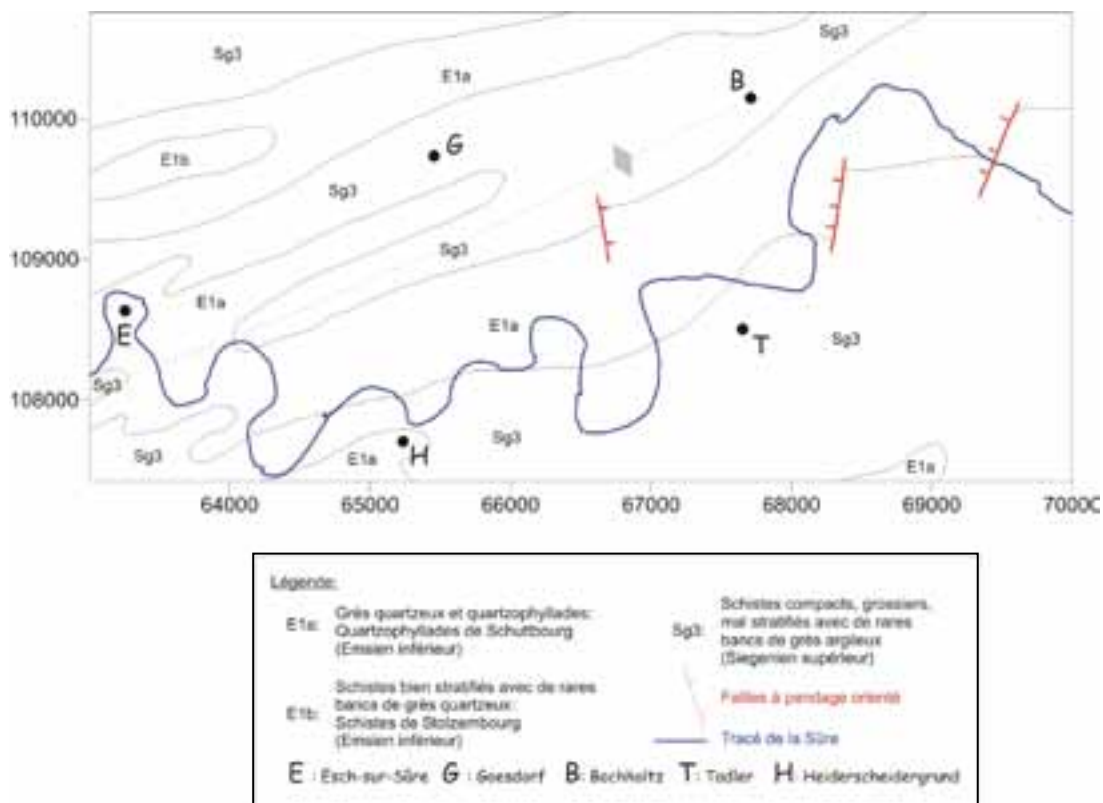


Fig. 5: Carte géologique schématique de la zone de prospection autour de Goesdorf, informations tirées de la carte géologique de Luxembourg - avec tracé de l'anticlinal d'Esch/Sûre.

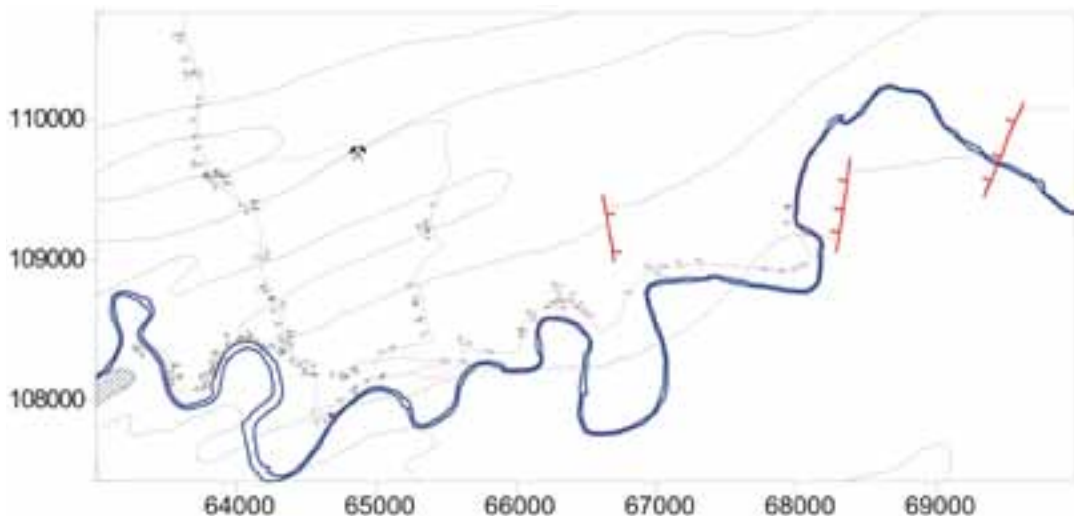


Fig. 6: données structurales de la campagne de cartographie de Nies (2005) et Philippo (2006). Pour le détail voir les zooms de figure 7 et 8.

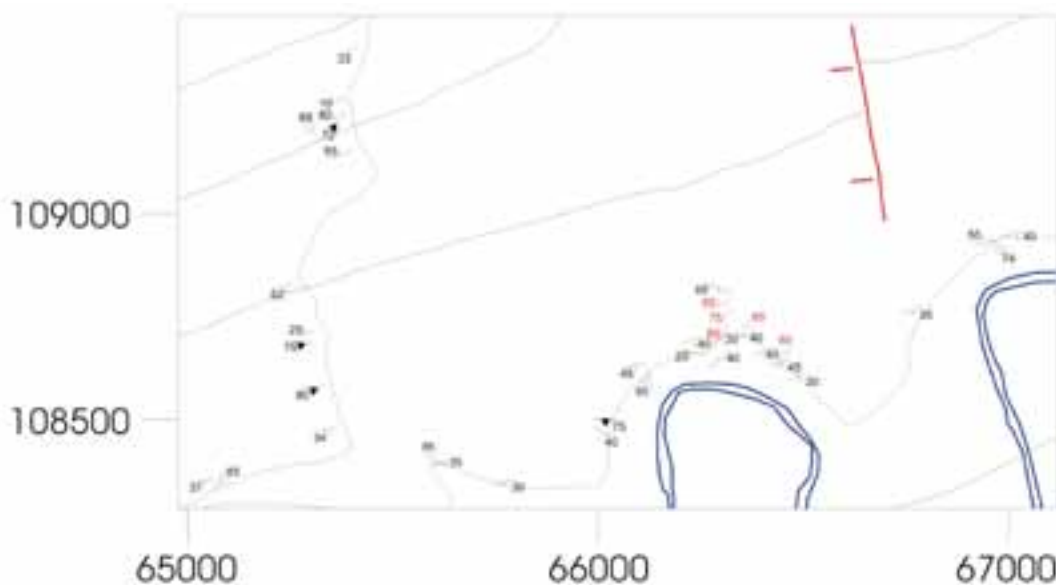


Fig. 7: Zoom sur les données structurales de la campagne de cartographie de Nies (2005) et Philippo (2006) - route de Heidersheidergrund vers Wiltz et route de Esch/Sûre.

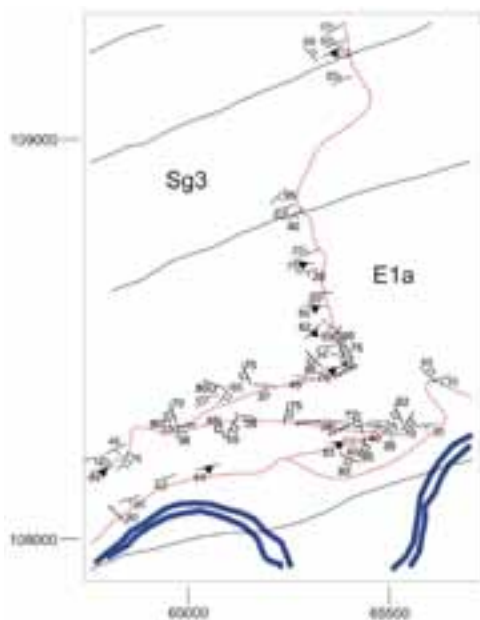


Fig. 8: Zoom sur les données structurales de la campagne de cartographie de Nies (2005) et Philippo (2006) - lors des travaux d'élargissement de la route de Goesdorf.

Deux détails de cette carte sont présentés en figure 7 et 8. Les surfaces mesurées sont la stratification, la schistosité, les diaclases et les failles. La stratification moyenne observée est de direction NNO-SSE avec un pendage nord. La schistosité est subparallèle à la stratification et la direction de clivage principale est ENE-OSO.

Une analyse des plans de fractures a été réalisée et des conclusions ont été tirées par rapport aux anticlinaux régionaux. Cette analyse est schématisée à la figure 9. Cette figure reprend une rose de distribution spatiale des principaux plans de fracture mesurés lors de la campagne de cartographie. Les trois directions principales sont notées $S1$, $S2$ et e . Sur cette figure, nous avons également ajouté la direction $\sigma1$ qui est la direction de contrainte principale du plissement hercynien (Mosar, 1992). Cette direction est perpendiculaire (orthogonale) aux plans axiaux des plis. Les figures 9a et 9b présentent schématiquement l'action de fracturation sur un anticlinal (comme celui d'Esch/Sûre): une faille de distension (extension) e orthogonale à la direction de contrainte principale $\sigma1$ et un système de deux failles de cisaillement ($S1$ et $S2$) formant un angle de 60° entre elles et dont la bissectrice de cet angle est à nouveau $\sigma1$, autrement appelé 'conjugate shear joints'. La

Directions des principaux plans de fracture
dans la région de Goesdorf (Nies, 2005)

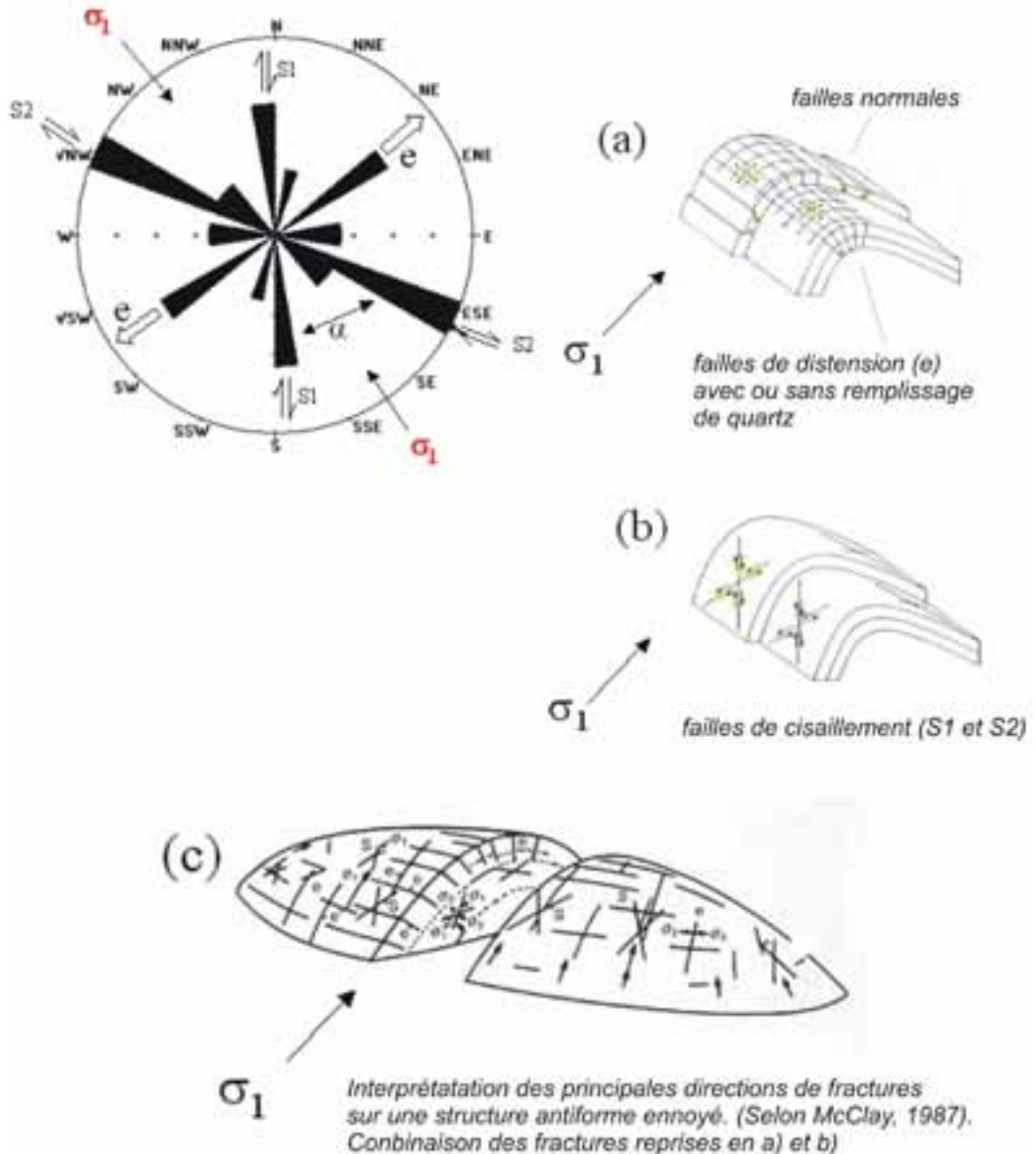


Fig. 9: Analyse des principales directions de fractures de la zone cartographiée (Nies, 2005) et schématisation de celles-ci par rapport à l'anticlinal d'Esch/Sûre. Le symbole σ_1 donne la direction principale de contrainte du plissement (Mosar, 1992).

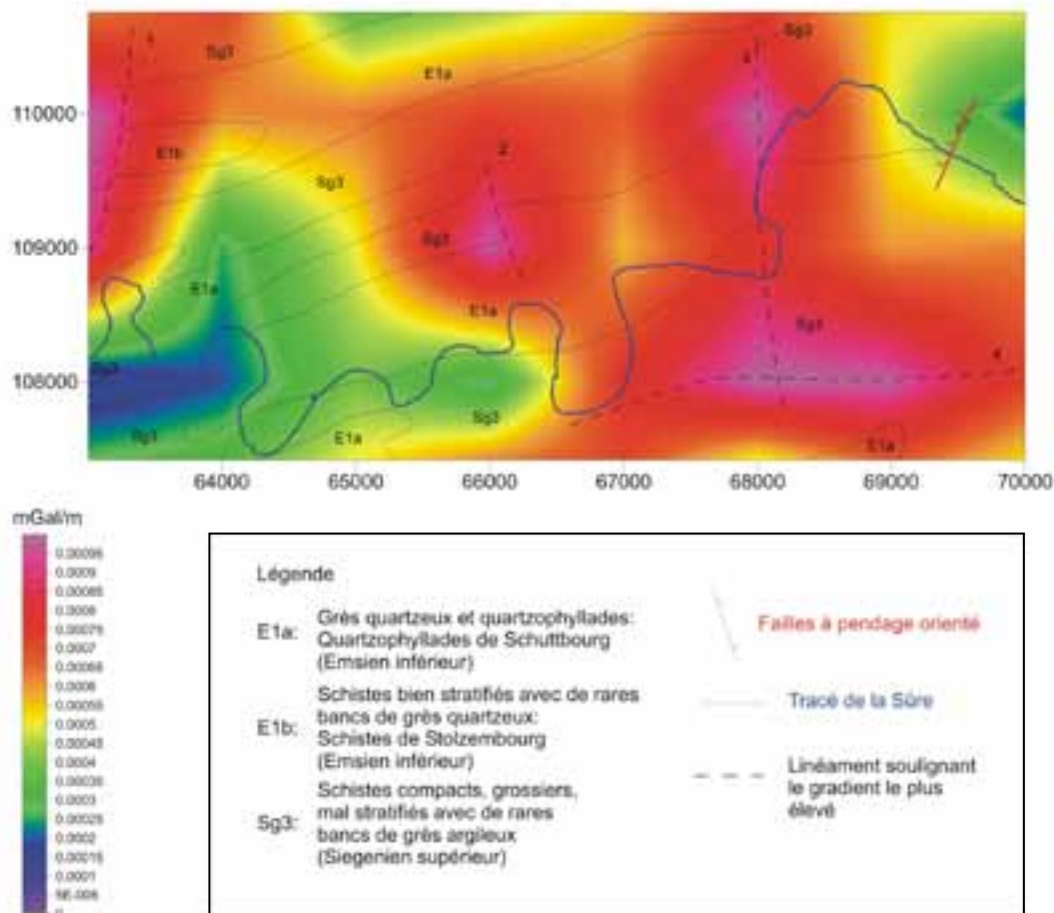


Fig. 10: Carte de gradients, synthèse de la prospection gravimétrique de Bornain pour le compte du MnhnL en 2005.

figure 9c est la plus proche possible de la réalité de ce travail; elle présente la combinaison des trois directions de fractures sur un anticlinal ennoyé. Les failles d'extension sont souvent soulignées par un remplissage de quartz. Parfois, elles présentent des cristaux de quartz tordus montrant ainsi ces fractures ont subi d'autres mouvement qu'une simple extension.

En parallèle, une campagne de prospection gravimétrique a été réalisée par Bornain en 2005 pour le compte du MnhnL (Figure 10). Les résultats ont été présentés et discutés dans le Diplomarbeit de Nies (Nies, 2005). Cette prospection met en évidence trois linéaments correspondant à la direction de cisaillement *S1* (linéaments 1, 2 et 3) et un linéament

(4) correspondant très approximativement à la direction de cisaillement *S2*. La figure 11 présente une réinterprétation des données géologiques de la figure 5 à la lumière des linéaments mis en évidence par la prospection. Les linéaments 2 et 3 correspondent probablement aux failles normales de la figure 5 avec un décalage de 500 m. Comme les failles de la carte géologique ne sont pas visibles sur le terrain, on peut considérer leur localisation comme supposée et approximative. Les linéaments sont donc des arguments en faveur d'une localisation plus précise des accidents sans modifier fondamentalement la carte géologique. Le linéament 1 ne correspond à aucune structure de la carte géologique. Par parallélisme, nous lui avons donné la même action que les deux autres

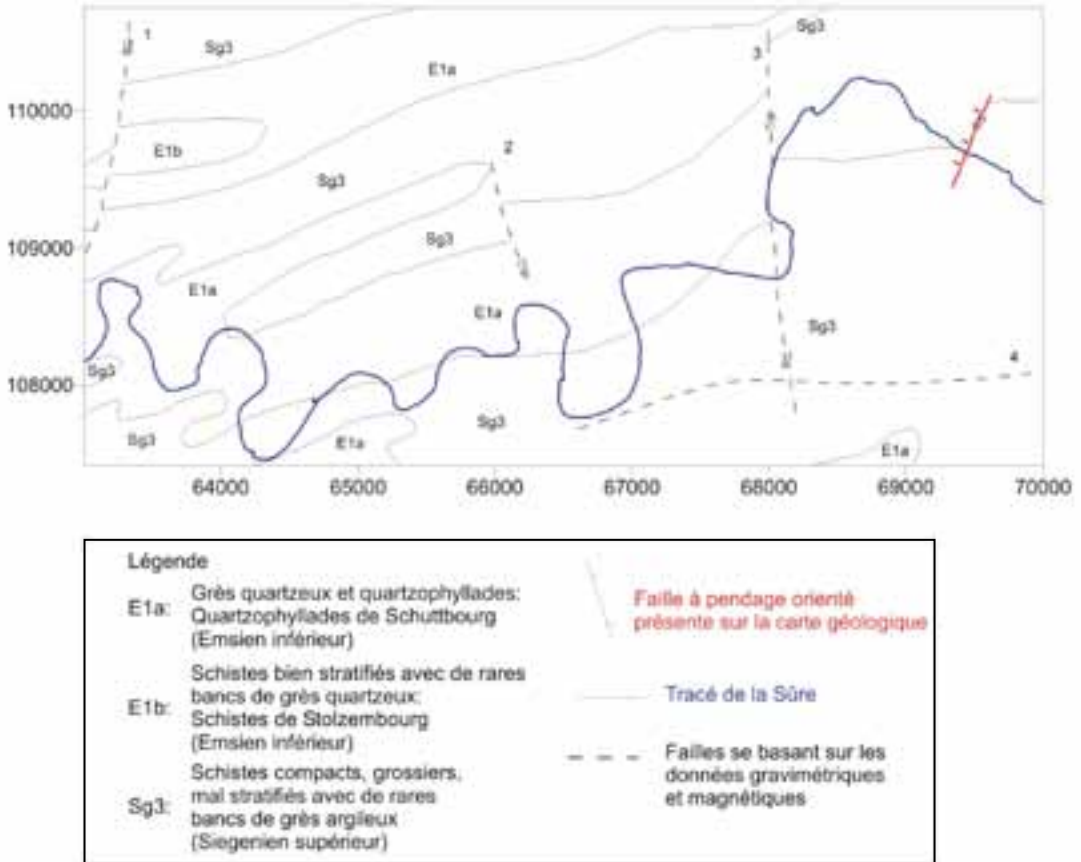


Fig. 11: Carte d'interprétation structurale et géologique basée sur la prospection gravimétrique de Bornain pour le compte du MnhnL en 2005.

linéaments de même direction. Cette hypothèse devra toutefois être vérifiée.

La figure 12 résume les travaux de Fomino (1994) et nous permet directement de confronter ses données d'anomalies en Ni et Sb à celles déduites de notre prospection géophysique. L'objectif du travail de Fomino (1994) était l'identification de facteurs métallogéniques pertinents qui pourraient avoir conduit à la formation du minerai. Dans ce but, il a récolté et analysé le contenu en métaux d'échantillons de quartz orienté. Il définit comme quartz orientés, tous les échantillons d'une faille remplie de quartz, bien localisés sur le terrain et orienté par rapport au système de fractures. Les échantillons provenant de poches à orientation aléatoire ou mal localisées sont exclus. La spectrométrie d'absorption atomique a été utilisée

pour l'analyse du Ni, du Co, du Cu, du Pb et du Sb. Les anomalies en Ni et Sb sont surtout localisées au SO de la mine. Fomino (1994) schématise la minéralisation par un hachuré gras de direction ENE-OSO correspondant à l'alignement de ses anomalies et qui serait, selon lui, la trace d'une faille décrochante. Or cette orientation est en désaccord avec les données structurales que nous avons recueillies et avec les données historiques de Weyer (1854) qui donnent une orientation N108°E.

Les données concernant la minéralisation sont tirées de la bibliographie (Weyer, 1854 et Lucius, 1948) et comparées à celles recueillies lors du levé de la galerie d'exhaure. Cette galerie en travers bancs de 269 m de long nous amène des informations géologiques, minéralogiques et structurales

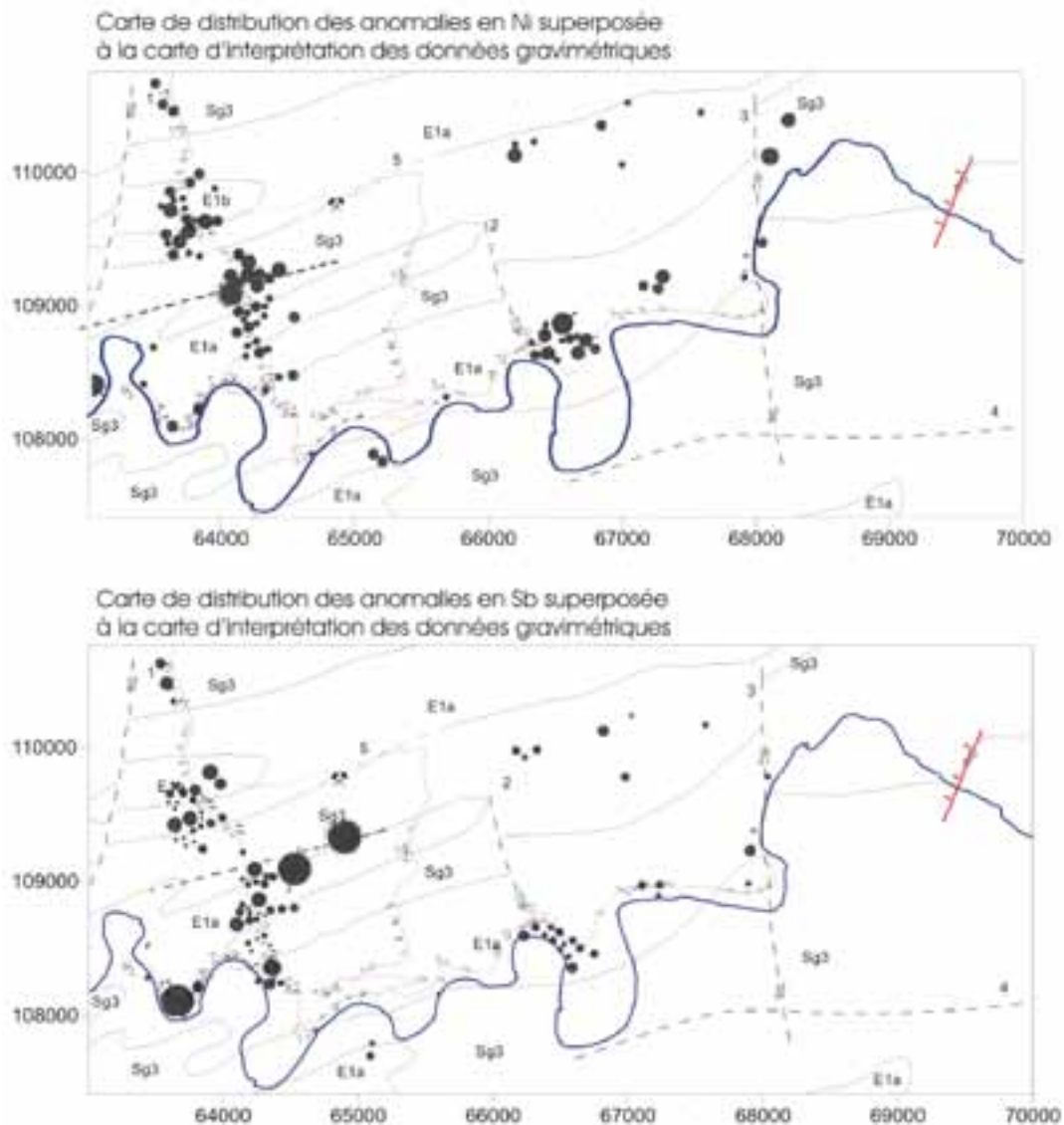


Fig. 12: Superposition de la carte d'interprétation structurale de Bornain, 2005 et de la prospection géochimique du nickel (Ni) et de l'antimoine (Sb) de Fomino.

(Figure 13). En début de galerie, des fractures de quelques cm de direction NO-SE contiennent des carbonates, des sulfures (stibine) et/ou du quartz. Ces fractures correspondent à la direction de cisaillement S2. On note des plans de failles de décrochement remplis d'argiles grises de direction N-S, soit la direction S1. Le long de ces miroirs de failles, correspondant à l'une des parois dans la seconde partie de la galerie, on distingue

les directions de déplacement au moyen des stries de glissement sur le miroir de faille. Ce qui nous permet d'affirmer qu'il s'agit de décrochements dextres. L'argile grise pourrait être le résultat d'une mylonitisation, processus typique d'une zone de cisaillement. Une troisième famille de plans de faille remplis d'argiles jaunes et de direction E-O a été cartographiée. Ces veines d'argiles correspondent elles aux salbandes?



Fig. 13: Levé géologique et structurale de la galerie d'exhaure de la mine de Goesdorf - levé géologique de Nies, Bornain et Philippo en 2005 sur base des travaux de levé topographique de J. Mersch.

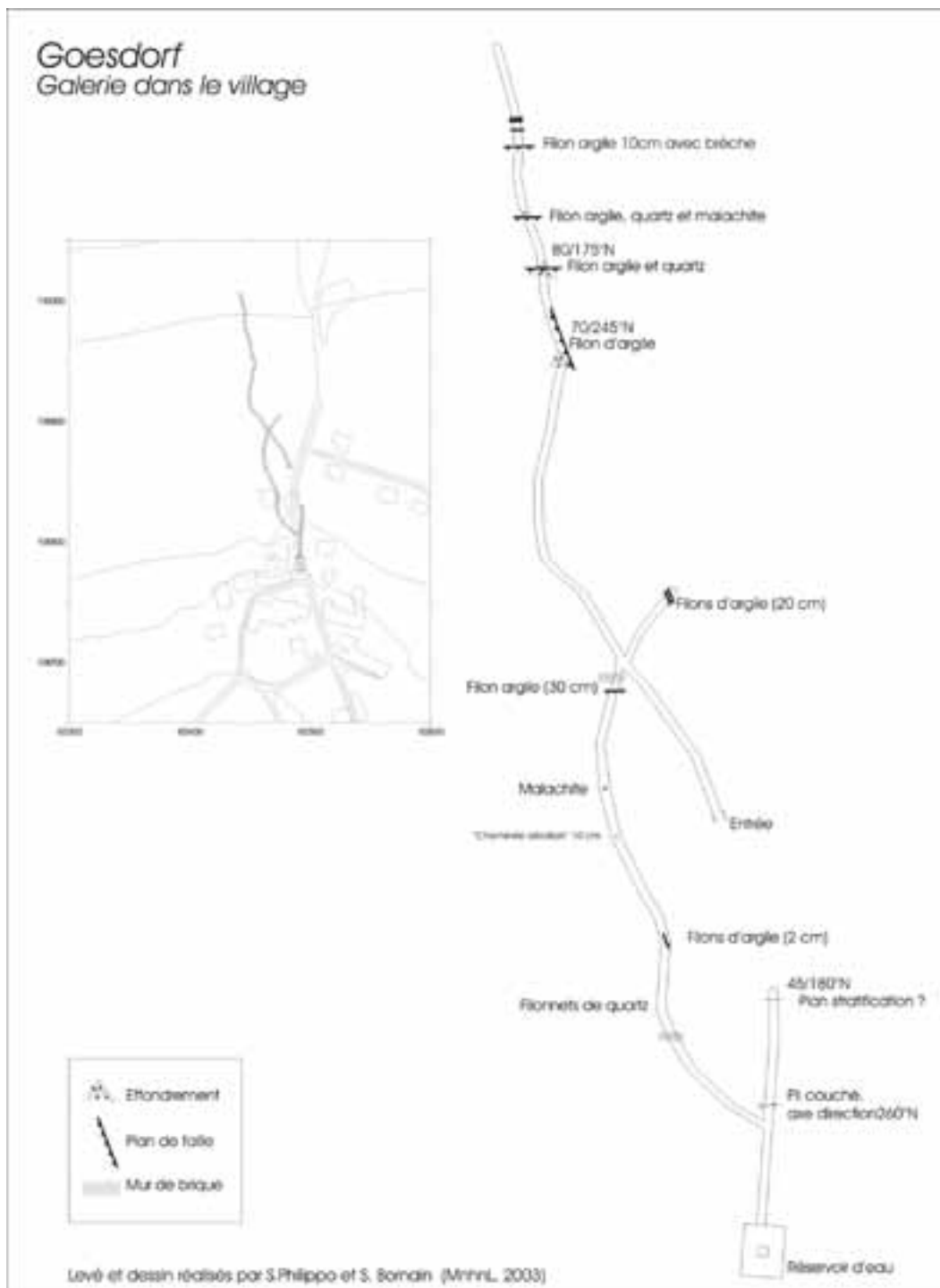


Fig. 14: Levé géologique et structural d'une galerie d'exploration dans le village de Goesdorf - levé géologique et topographique de Bornain et Philippo en 2003.

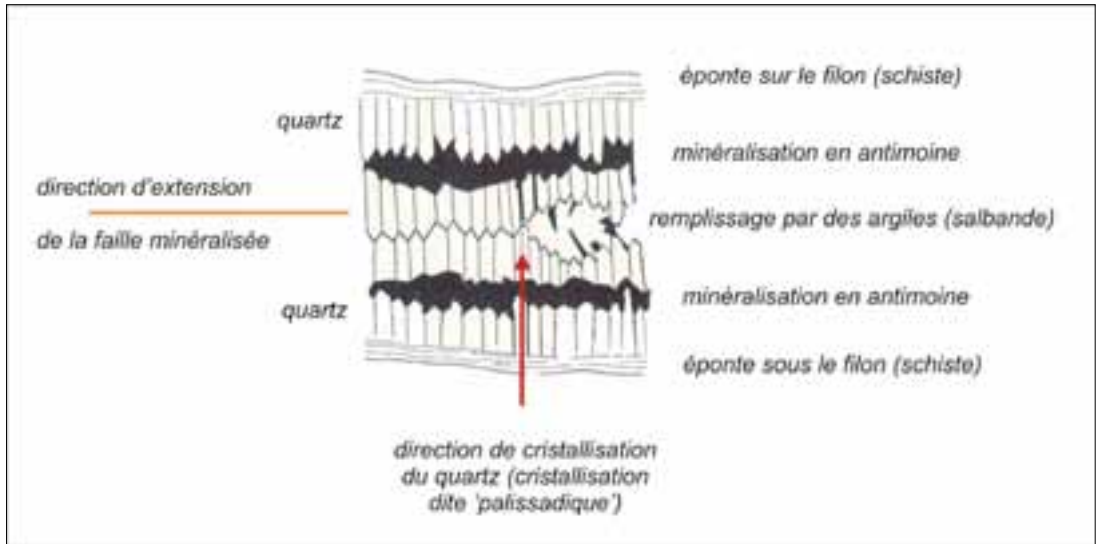


Fig. 15: Dessin schématique du filon minéralisé en antimoine de Goesdorf, croquis réalisé sur base de l'observation de l'échantillon G22 - échelle: épaisseur du filon de 5 cm.

En 2003, nous avons également eu l'occasion de cartographier une galerie dans le village de Goesdorf même. Cette galerie (Figure 14)

	Reuter 1853 voie humide	MnhnL 1998 xrf	Born43 1998 xrf
Sb2S3	97,874	54,000	95,160
SiO2	0	33,200	1,920
MgCO3	0,359	0	0
MgO	0	9,300	0,088
Al2O3	0,059	1,150	0,267
CaCO3	0,544	0	0
CaO	0	0	0,264
K2O	0	0	0,058
FeS2	0,229	0	0,510
Pb	0	1,710	0,290
Zn	0	0,319	0,010
Cu	0	0,214	0,040
Rb	0	0,00645	0
Ni	0	0	0,020
AsS	0,142	0	0
PbS	traces		
insolubles	0,171		
Total	99,378	99,899	98,63

Fig. 16: Analyses chimiques en pourcentage poids du minerai: analyses du minerai trié (Reuter, 1853 et Born43, 1998) analyse d'un morceau de filon non trié (MnhnL, 1998).

présente deux orientations de faille. La première de direction E-O est minéralisée en argile, quartz et malachite. Nous supposons que la malachite provient d'un minerai contenant du cuivre. Quelques filons d'argile bleu-grise de direction NNO-SSE ont également été notés. Dans la galerie d'exhaure et dans celle du village, les fractures principales correspondent à S1 et S2. Les fractures S1 sont minéralisées; tandis que les fractures de type S2 sont des mylonitisations stériles. Les fractures d'extension sont plus rares et sont remplies d'argile jaune.

La meilleure description du filon est faite par Weyer (1854). On note l'existence de deux filons parallèles, de direction N108°E et de pendage oscillant entre 65° et 75° S. Ces filons sont séparés par un grauwacke épais de 6 à 8 m. Chaque filon se présente de la manière suivante: une épaisseur de 2 à 3 m et de l'argile assez douce avec des veines du minerai d'antimoine, de la pyrite et du quartz friable. Les Salbandes se situent souvent à l'interface entre le filon et l'encaissant. Les veines d'antimoine, bien que continues, changent toutefois de puissance et de teneur presque chaque demi-mètre. La figure 15, réalisées sur base d'un filon de 5 cm, est en accord avec cette description et permet de montrer la relation spatiale entre les épontes, le quartz palissadique, le minerai d'antimoine et les salbandes.

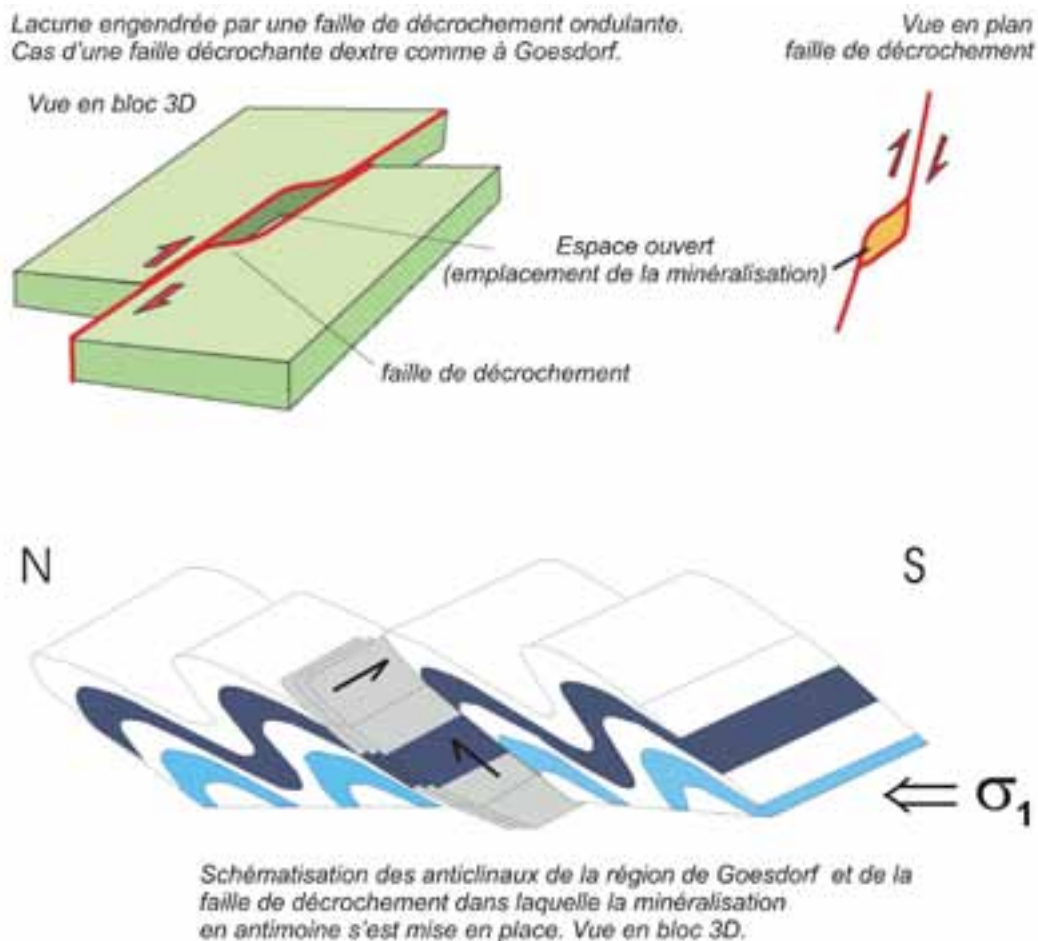


Fig. 17: Schématisation de la structure anticlinale de la région de Goesdorf et de la faille de décrochement (selon S2) dans laquelle la minéralisation lenticulaire en antimoine s'est mise en place.

Le minerai sensu stricto a été analysé (Figure 16). L'analyse la plus ancienne est celle de Reuter (1853). Elle signale la présence de carbonates et de traces de Pb, As et Fe. L'analyse plus récente d'un morceau de filon, minerai brut, c'est à dire minerai et gangue (MnhnL, 1998) met également en évidence le Mg de la dolomite (le C n'a pas été analysé) et note des traces de Pb, Zn et Cu. L'analyse (Born 43) est faite sur un échantillon de minerai trié. Elle présente des traces de Fe, Pb, Zn, Cu et Ni. Tous ces éléments en trace se retrouvent dans les espèces plus rares de la paragenèse minérale de Goesdorf.

Concernant l'orientation du filon, certaines données de la littérature sont contradictoires entre elles et en contradiction avec nos observations. Fomino (1994) trace la minéralisation (Figure 12) avec une direction ENE-OSO. Nies (2005), sur base d'une prospection magnétique mettant en évidence un contact lithologique, associe la minéralisation à la direction des fractures d'extension (orientation NE-SO). Or le seul le rapport d'expertise de la mine (Weyer, 1854) donne une orientation des filons de N108°E. Cette description est en accord avec nos observations de filons de quartz minéralisés en antimoine dans la galerie d'exhaure qui donnent une orientation ONO-ESE. On peut donc, sur base de ces deux

observations, affirmer que la minéralisation est liée au système de failles de cisaillement S2.

Pour fixer l'ensemble des informations récoltées et les synthétiser, nous avons réalisé un schéma de la faille contenant la minéralisation en antimoine (Figure 17). L'hypothèse d'une faille décrochante (de cisaillement) ondulante permet d'expliquer la création d'un espace de 2 à 3 m pouvant être remplis par du minerai. Cette espace créé est lenticulaire. Ceci est en accord avec l'observation ponctuelle de la minéralisation à Goesdorf (aucune continuité latérale observée) et ne nous oblige pas à supposer des failles de direction N-S qui limiterait (ou déplacerait) la minéralisation à l'Est et à l'Ouest. La deuxième partie de cette figure 17 replace la faille minéralisée dans son contexte géologique régional.

4. Minéralogie

La liste des 34 espèces de minéraux inventoriées à Goesdorf est donnée dans le tableau 1.

4.1. Ankérite, $\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg},\text{Mn})(\text{CO}_3)_2$

Ce minéral de la famille des carbonates a été confirmé par diffraction des rayons x (analyse Born47). Il se présente en petits cristaux de 1 ou 2 mm.

4.2. Argiles, phyllosilicates alumineux hydratés

Les minéraux de type argiles sont contenues dans ce que l'on appelle les salbandes' de la minéralisation. Ce terme vient de l'allemand 'Salband' et signifie éponte argileuse d'un filon.

Des analyses en diffraction des rayons x ont montré un mélange de dickite $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$, de clinochlore $(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_2\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ (variété clinochlore-Fe (1MIIB) et d'illite $\text{K}_{0,65}\text{Al}_2[\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$. Ces argiles contiennent des traces de Cr (0.015 %), de Ni (0.007 %), de Rb (0.015 %), de Sr (0.015 %), de Zr (0.03 %), de Ba (0.04 %), de La (0.010 %) et de Ce (0.020 %).

La chlorite, clinochlore-Fe (1MIIB) se présente également sous la forme d'agrégats microscopiques, micacés, en forme de sphéroïdes.

4.3. Berthiérîte, FeSb_2S_4

La berthiérîte se présente en fins microcristaux iridescents (photo NA82-G101). Celle-ci ne peut être distinguée avec certitude de la stibine et de la zinkénite sans l'emploi de techniques telle que les rayons x.

Elle est beaucoup moins commune que la stibine et se présente généralement en individus plus fibreux et moins déformés.

4.4. Calcite, CaCO_3

La calcite est un minéral de la gangue assez rare sur les haldes. Il s'agit la plupart du temps de scalénoèdres de couleur jaune dont les arêtes sont

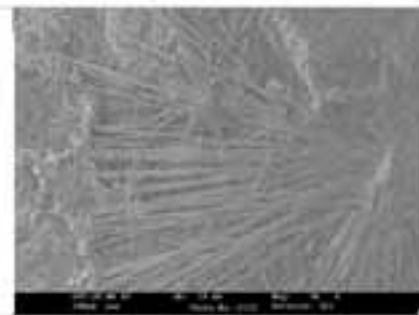
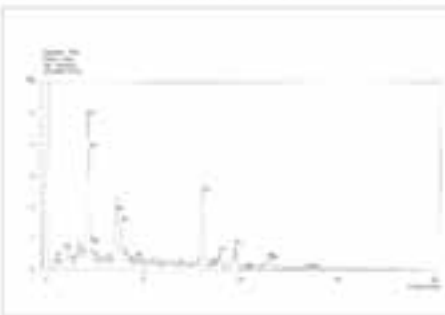
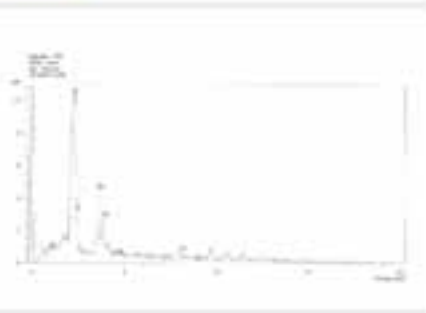
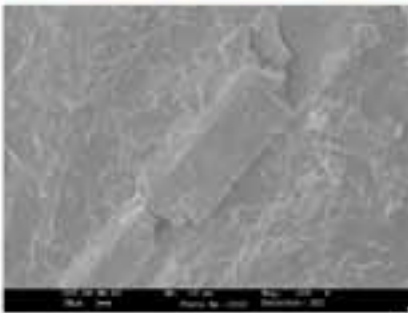
Tableau 1: Liste des minéraux inventoriés à Goesdorf. En italique les minéraux indéterminés ou non confirmés

<i>Ankérite</i>	Berthiérîte	Calcite
<i>Calcédoine</i>	Chalcostibite	Chalcopyrite
<i>Clinochlore-Fe</i>	<i>Dickite</i>	<i>Dolomite</i>
<i>Goethite</i>	<i>Gypse</i>	<i>Hématite</i>
<i>Illite</i>	<i>Indéterminé 1</i>	<i>Indéterminé 2</i>
<i>Indéterminé 3</i>	<i>Indéterminé 4</i>	<i>Jamesonite</i>
Kermésite	<i>Marcassite</i>	<i>Malachite</i>
<i>Or</i>	'Oxydes de Mn'	<i>Pyrite</i>
<i>Quartz</i>	<i>Sénarmontite</i>	<i>Sidérite</i>
<i>Soufre</i>	<i>Sphalérite</i>	<i>Stibiconite</i>
<i>Stibine</i>	Todorokite	<i>Valentinite</i>
Zinkénite		



*Chalcocite en fibres
(spécimen G44, photo Nb55)
et phase d'altération*

*Chalcocite monocristal
(cliché Meb et analyse Edax)*



*Chalcocite en fibres
(cliché Meb et analyse Edax)*

*Chalcocite monocristal
(spécimen G36, photo NB49)
et une phase d'altération*



Planche 1: Chalcocite, Cu_2S , de Goesdorf - variations d'habitats de l'espèce (fibres ou monocristaux), photographies à la loupe binoculaire, clichés au microscope électronique à balayage (MEB) avec analyses Edax correspondantes. © Mhnl, 2007.

souvent corrodées. L'échantillon G184 présente des rhomboédres jaunes. Des échantillons plus fournis en calcite ont été récoltés dans le fond de la galerie d'exhaure.

4.5. Chalcopyrite, CuFeS_2

La chalcopyrite, observée dans les échantillons G23 et G32 provenant des parties du filon de quartz riches en carbonates, est généralement partiellement altérée en malachite.

4.6. Chalcostibine, CuSbS_2

Ce minéral se présente sous forme de fibres iridescentes à structure fibroradiée plane (planche 1) ou en monocristaux (planche 1). Les gerbes de cristaux sont isolées dans une gangue de quartz et ne se trouvent pas dans des filons de minerais. Ce minéral est partiellement altéré en fibres vertes qui sont décrites comme indéterminé 3. La présence de ces minéraux cuprifères d'altération est souvent un bon critère de reconnaissance.

La présence de la chalcostibine, minéral rare a été confirmée par XRD. Il véhicule une partie du cuivre repéré dans l'analyse du minerai. Des clichés de cette phase minérale ont été pris au microscope électronique à balayage (planche 1) et des analyses chimiques ont été faites simultanément à l'Édax (planche 1).

4.7. Dolomite, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$

C'est l'une des phases carbonatées de la gangue avec l'ankérite, la sidérite et la calcite. Elle se présente en cristaux de 2 à 3 mm en remplissage de géodes.

4.8. Goethite, FeOOH

Ce minéral se trouve en encroûtement rougeâtre sur la pyrite.

4.9. Gypse, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

Le gypse (identification visuelle et analyse xrd sph15) est un minéral rare du gisement de Goesdorf. En général, il est le résultat de la décomposition des sulfures en présence de carbonates de calcium. A Goesdorf, ce minéral est généralement associé à la pyrite altérée. On le trouve sous forme de cristaux en tablettes longues de 2 à 3 mm (voir minéral isolé G46) qui sont parfois squelettiques (G118), sous forme fibreuse en amas de cristaux allongés selon l'axe c et courbés en forme de cornes de bélier (G126 – dias NA47) ou sous forme

de cristaux isolés prismatiques de 1 à 2 mm (G46 – dias NA48). Les faciès de ce minéral est typique.

4.10. Jamesonite, $\text{FePb}_4\text{Sb}_6\text{S}_{14}$

Ce minéral de la famille des sulfosels de plomb se présente en cristaux finement aciculaires regroupés en agrégats fibroradiés de 2 mm de diamètre (Photo G36-NA83). Il a un éclat polymétallique marqué. Il est toujours associé avec la stibine et la zinkénite avec lesquelles il peut être confondu. L'identité de l'espèce a été vérifiée par diffraction des rayons x (spectre born45).

4.11. Kermésite, $\text{Sb}_2\text{S}_2\text{O}$

En 1993, Kronz et Heinen avaient observé des petits minéraux rouge vif et avaient cité le nom de kermésite mais sans pouvoir le confirmer. La kermésite est un minéral de couleur rouge cerise (sherry-red) à éclat adamantin. C'est un minéral classique de la paragenèse des minerais d'antimoine en phase d'oxydation.

Nous observons, dans l'échantillon G112, un cristal rouge vif dans une géode de stibine; dans l'échantillon G113, une croûte de cristaux rouge vif remplissant les parois d'une géode dans la stibine massive; dans l'échantillon G115, des petits cristaux rouge vif sur cristaux de quartz dans une géode de quartz et stibine et dans l'échantillon G157, un encroûtement de petits cristaux rouge vif sur stibine altérée et valentinite. L'analyse de l'échantillon G113 (spectre xrd sp5), montre nettement les raies de la kermésite.

4.12. Or, Au

Un échantillon des collections du MnhnL, signalé comme trouvé à Goesdorf en 1893 (soit à l'époque des travaux de Westhofen) présente des traces d'or avec stibiconite sur quartz.

4.13. Oxydes de Mn

On trouve parfois ces oxydes de manganèse (pyrolusite?) sous la forme de dendrites sur des quartz massifs ou sur le grès de l'encaissant au contact avec le filon.

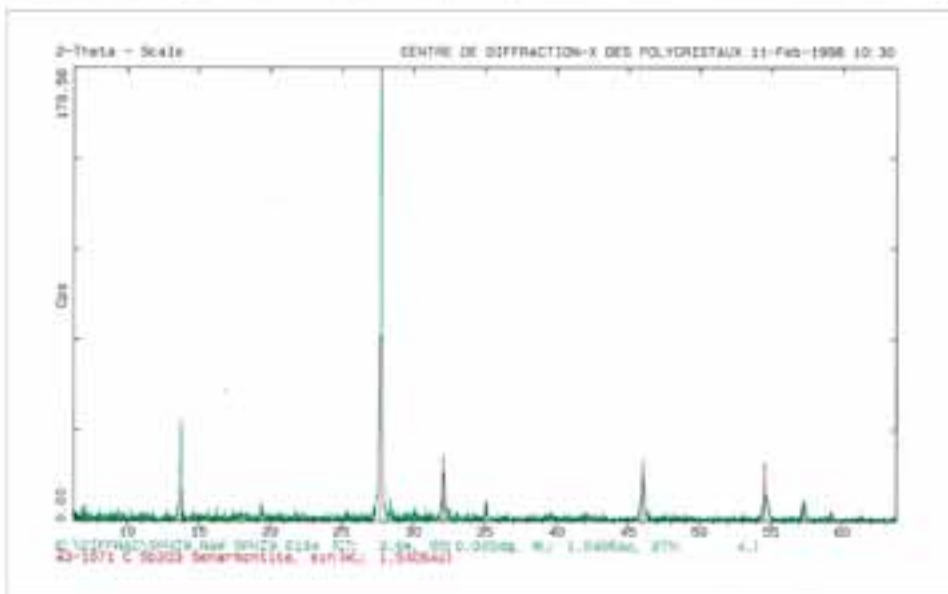
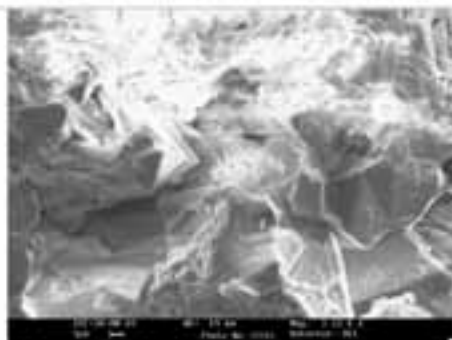
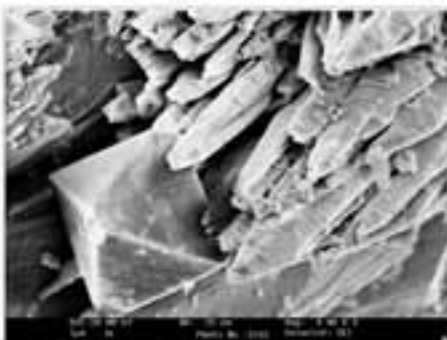
4.14. Pyrite, FeS_2

La pyrite est un minéral courant de l'encaissant schisteux. On le trouve sous forme de nodules partiellement altérés dans des structures de 'pressure shadow'.



Sénarmontite
cristaux de 0.2 mm
(spécimen G134)

Sénarmontite
(clichés Meb)



Spectre de diffraction de rayons x de la sénarmontite de Goesdorf

Planche 2: Sénarmontite de Goesdorf, cristaux octaédriques de 0,2 mm - photographie à la loupe binoculaire, clichés au microscope électronique à balayage (MEB) et spectre de diffraction de rayons x (XRD). © MnhnL, 2007.

Dans le minerai, elle est souvent associée à la gangue de quartz et recouverte d'une mince pellicule d'altération en goéthite, ce qui confère aux cristaux une couleur rouge. Cette couche est superficielle et se gratte facilement. En-dessous, la pyrite a son éclat métallique jaune caractéristique. On la trouve sous forme de cubes, de dodécaèdres pentagonaux avec troncature de l'arête du cube d'origine, de tétraèdres avec troncature des sommets (faces du cube d'origine). La taille des cristaux varie entre 1 et 4 mm. L'échantillon G67, envoyé pour analyse XRD, a permis de confirmer la détermination. Des analyses chimiques nous amène à penser que le Ni et le Co seraient inclus en substitution du fer dans la pyrite. Cette substitution est classique et référencée notamment dans Anthony et al. (1990). Seules les pyrites incluses dans le minerai ont été analysées. Les pyrites aux épontes du filon le seront prochainement.

4.15. Quartz, SiO_2

Le quartz est le minéral le plus courant de la gangue à Goesdorf. Souvent, il se présente en cristaux palissadiques à cristallisation perpendiculaire aux épontes des filons minéralisés (Figure 15). Au centre du filon, la direction de croissance des cristaux est plus aléatoire. On peut distinguer deux générations de quartz: des cristaux de 2 à 3 cm, laiteux, en pyramides hexagonales avec des faces plagiédres, souvent recouverts d'un enduit argileux et des cristaux euhédraux généralement hyalins de seconde génération qui croissent perpendiculairement à l'axe c des cristaux plus grands.

L'échantillon G89 montre un cristal de quartz hyalin tronçonné perpendiculairement à son axe c, ce qui pourrait suggérer une extension des fissures lors de la mise en place de la minéralisation. Signalons dans ce contexte que les cristaux formant la gangue sont souvent corrodés.

4.16. Sénarmontite, Sb_2O_3

La sénarmontite est un minéral, polymorphe de la valentinite, rare à Goesdorf. Il a été signalé pour la première fois par Kronz et Heinen (1993) sur un seul échantillon mais nous pouvons, d'ores et déjà, confirmer qu'il ne s'agit pas là d'un cas isolé. C'est un minéral secondaire formé par oxydation de la stibine. On le trouve dans de petites vacuoles jaunâtres (3 à 4 mm) situées dans le minerai de stibine sous la forme de cristaux octaédriques incolores et

transparents de 0,2 à 0,3 mm (Planche 2). Ils ne sont jamais isolés mais remplissent la vacuole et on peut parfois observer des agrégats de cristaux en forme de druse. L'échantillon G134 a confirmé l'occurrence par analyse XRD (planche 2). La forme octaédrique est particulièrement bien visible au microscope électronique à balayage (planche 2).

4.17. Sidérite, FeCO_3

La sidérite est un minéral de la gangue assez rare, tout comme les autres carbonates. Il est souvent associé à la pyrite et se présente sous la forme de rhomboèdres primitifs striés perpendiculairement à leur axe c dont les faces sont souvent courbes. Elle est de couleur brune à rouge (photo G119).

4.18. Soufre, S

Le soufre se présente sous forme de cristaux microscopiques de 0,2 mm (photo G85-NA43). Ce minéral est le résultat de la dégradation des sulfures et notamment de la stibine, car il n'est pas rare de trouver des géodes présentant le soufre et la valentinite simultanément. Les cristaux sont souvent euhédraux, transparents et jaunes. Ils présentent de multiples faces évoquant des billes à facettes. Souvent l'intérieur des faces est creux avec une structure conique, ce qui fait penser à une croissance rapide du cristal avec formation complète des arêtes et lacune des milieux de faces. L'échantillon G134 a confirmé l'occurrence par analyse XRD

4.19. Sphalérite, ZnS

La sphalérite est un minéral rare à Goesdorf. Il s'agit de cristaux en forme de tétraèdres simples de 0,5 mm environ, translucides et de couleur ambrée avec parfois une légère troncature des arêtes. Deux habitus différents ont été observés sur les échantillons du MnhnL. Ils sont toujours associés à la stibine (photo NA21-G60). Les échantillons G163 et G60 ont confirmé l'occurrence par analyse XRD (sphi1). Ce minéral serait le porteur du zinc révélé par l'analyse du minerai.

4.20. Stibiconite, $\text{Sb}^{+3}\text{Sb}^{+5}_2\text{O}_6(\text{OH})$

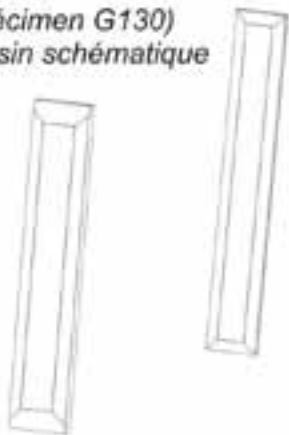
La stibiconite est un des minéraux d'altération de la stibine par oxydation. Il se présente à Goesdorf sous la forme d'une pellicule compacte de couleur brun - jaune à éclat terreux recouvrant partiellement les cristaux de stibine (photo G80-NA28).



*Stibnite
cristal prismatique de 4 mm
(spécimen G138)
photo à gauche
dessin ci-dessous*



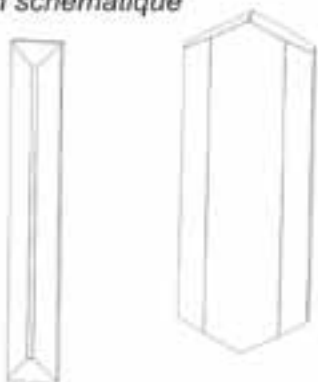
*Stibnite
(spécimen G130)
dessin schématique*



*Stibnite
(spécimen G138, photo Na24)
cristal courbe de 0,5 mm
dessin du spécimen G170 ci-dessous*



*Stibnite
(spécimen G144)
dessin schématique*



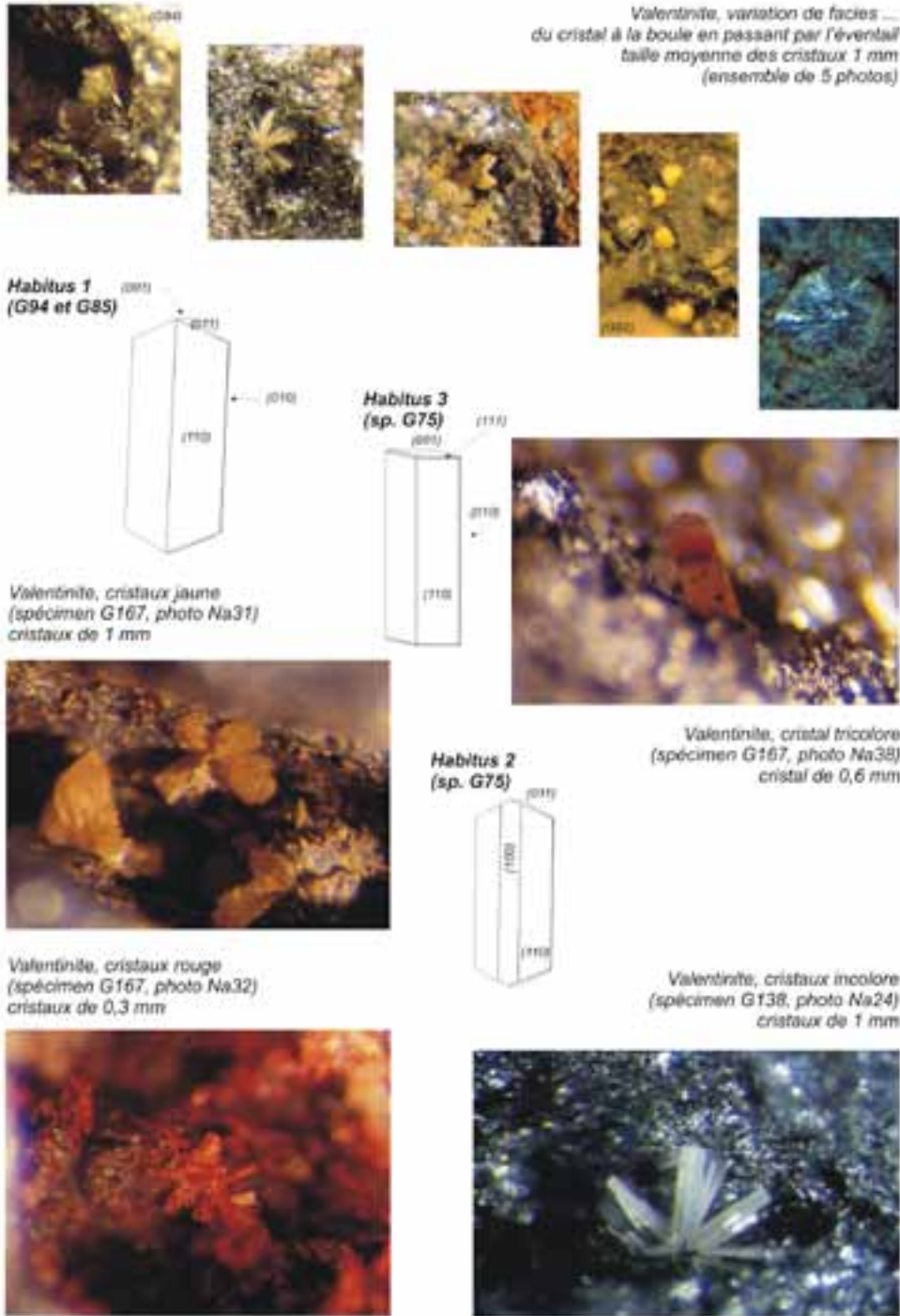


Planche 4: Valentinite de Goesdorf - photographies des variations de faciès, dessins des trois habitus observés et photographie des variations de couleur de l'espèce. © MnhnL, 2007

Dans de rares cas, il y a pseudomorphose complète du cristal de stibine (G80). Les échantillons G5 et G35 ont confirmé l'occurrence par analyse XRD.

4.21. Stibine, Sb_2S_3

La stibine est le minéral principal du gisement d'antimoine de Goesdorf. Il se présente le plus souvent sous la forme de minerai compact. De temps à autre, on trouve des géodes ou des fractures dans le minerai ou dans la gangue de quartz présentant de cristaux euhédraux. Dans ces géodes, les cristaux aciculaires sont groupés en agrégats sous la forme de pelotes d'aiguilles. Ils se présentent en prismes longs, striés verticalement (planche 3) et parfois courbes (G102-G138-G17) de couleur bleu acier (planche 3). Leur taille varie de 0,2 à 4 mm. Selon Kronz et Heinen (1993), les cristaux présents dans la gangue de quartz peuvent atteindre 1 cm. Ils présentent un éclat métallique soutenu lorsqu'ils ne sont pas recouverts de stibiconite et il n'est pas rare de voir diverses teintes d'iridescence. Diverses terminaisons cristallines (planche 3) ont été mises en évidence sur les échantillons G133, G138, G144 et G170. Les échantillons G27 (stibine sur quartz), G90 (stibine massive, minerai) ont confirmé l'occurrence par analyse XRD (sphi11, 12 et 13).

4.22. Valentinite, Sb_2O_3

La valentinite est le principal minéral d'oxydation de la stibine. A Goesdorf, c'est le minéral qui présente le plus de morphologies différentes: en prismes ou, en forme de tablettes. Les différents faciès sont schématisés sur la planche 4. Les cristaux sont rarement isolés et se regroupent souvent en éventails. Ce regroupement pouvant même être en rayons partiels ou complets et former des boules de valentinite. Les boules sont alors fibroradiées. La couleur de la valentinite est souvent jaune ou blanc crème mais on trouve aussi à Goesdorf des cristaux incolores (dia NA34), orangés (dia NA31), rouges (NA32) et même tricolores (NA38). L'échantillon G82 a confirmé l'occurrence par analyse XRD. En 1993, Kronz et Heinen avaient déjà mentionné ce minéral mais sans confirmation précise.

4.23. Zinkénite, $Pb_9Sb_{22}S_{42}$

Cette espèce cristalline se présente en pelotes d'aiguilles à éclat métallique (planche 5). L'identification de l'espèce a été vérifiée par diffraction

des rayons x (planche 5). Des clichés pris au microscope électronique à balayage confirment l'habitus vu à la loupe (planche 5) et l'analyse Edax confirme les informations obtenues par diffraction des rayons x. Ce minéral véhiculerait une partie du plomb identifié dans l'analyse du minerai.

4.24. Minéral indéterminé 1

Cette phase que nous avons observé sous la forme d'un encroûtement bleuté sur un ancien marteau de mineur trouvé dans les haldes (échantillons G128 et G129) est peut-être de l'hydromagnésite ou de la dypingite qui sont deux carbonates de magnésiums hydratés.

4.25. Minéral indéterminé 2

Ce minéral présente des cristaux en plaquettes pseudo-hexagonales de 3 à 4 mm, blanches ou incolores et striées sur la tranche. Les plaquettes sont souvent interpénétrées. Elles sont alors incolores sur les bords et blanches vers le centre. Le plus bel échantillon, noté G188, a été photographié (planche 6).

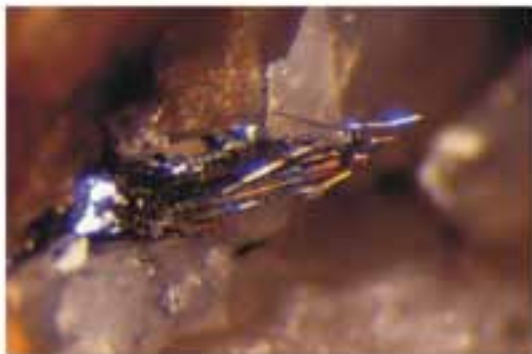
Il a été observé sur les échantillons G151, G149, G127, G137 et G73. Une première analyse par diffraction des rayons x de l'échantillon G151 est reprise sur la fiche du minéral (planche 6). Les phases identifiées par le programme de recherche automatique JCPDS mais sans corrélation exacte avec l'espèce (ni forme, ni chimisme, ...) sont la todorokite et la zinnwaldite.

Un échantillon a été envoyé au Musée de Géologie de Lausanne pour affiner la détermination. A première vue, il devrait s'agir d'un minéral apparenté à la brandholzite $Mg[(Sb(OH)_6)_2(H_2O)_6]$ et à la bottinoite $Ni[(Sb(OH)_6)_2(H_2O)_6]$.

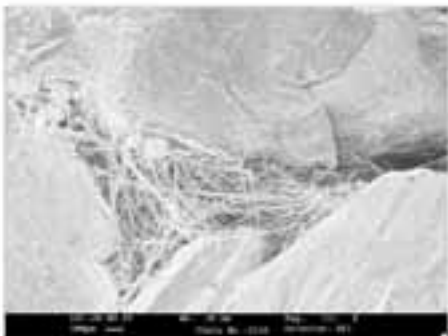
4.26. Minéral indéterminé 3

L'échantillon G36 présente des cristaux en fibres vertes à éclat adamantin sur chalcostibite et quartz. Les échantillons G38, G40, G42, G44, G76, G117 et G125 présentent un encroûtement vert d'eau sur la chalcostibite (planche 1).

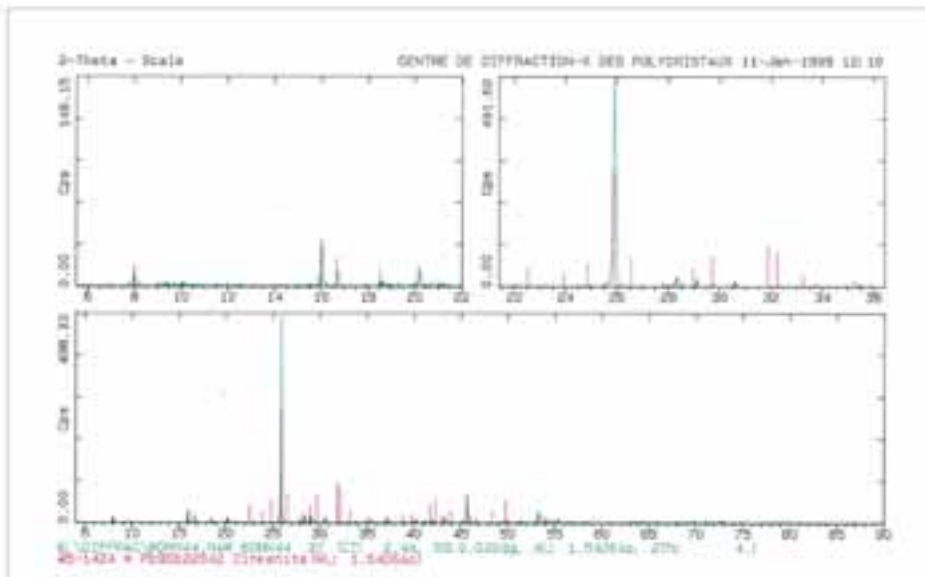
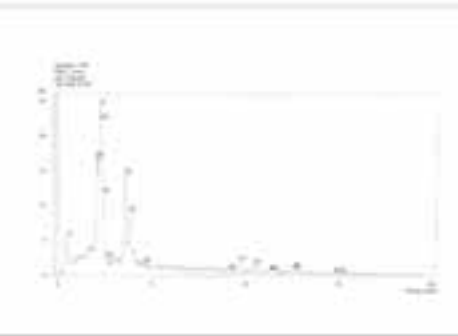
L'échantillon G36 a été analysé par diffraction des rayons x, photographié au microscope électronique à balayage et analysé par Edax (planche 7). Cette analyse suggère une phase contenant les éléments suivants: Sb, O, Cu, Fe et Si.



Zinkénite
cristaux fibreux de 1 mm

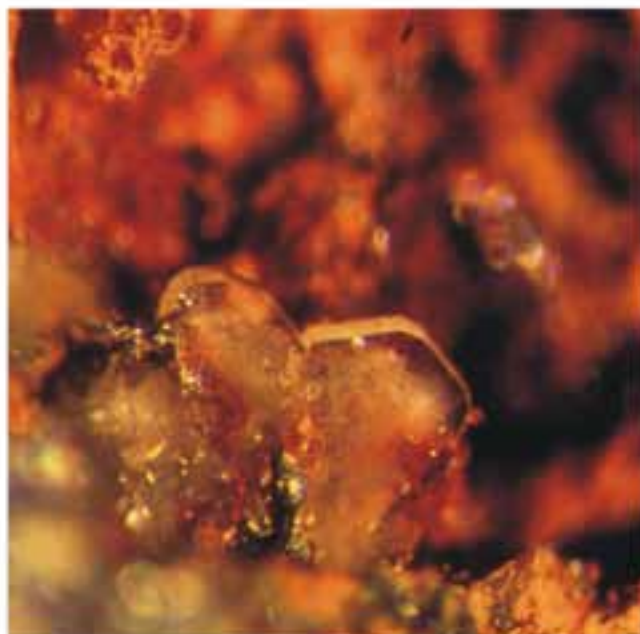


Zinkénite
(clichés MEB et analyse Edax)



Spectre de diffraction de rayons x de la zinkénite de Goesdorf

Planche 5: Zinkénite de Goesdorf - photographie à la loupe binoculaire, cliché au microscope électronique à balayage (MEB) avec analyse Edax correspondante et spectre de diffraction de rayons x (XRD). © MnhnL, 2007.



Indéterm.2
Cristaux pseudo-hexagonaux
taille du cristal 3 mm
(photo Nc04)

Indéterm.2
(spécimen G188)
croquis cristal de 3 mm



Raies mesurées	Int. rel.	Facteur1/2	Facteur1/2	Facteur1/3
19.34	3	19.34		
9.812	45	9.67	9.812	9.812
4.913	100	4.835	4.906	
3.278	18			3.271
2.460	3	2.417	2.453	
1.091	2			1.090

Indéterm.2: données xrd: mesure 'd' des raies mesurées, intensités relatives des raies et calculs des facteurs 1/2 et 1/3 des 2 raies les plus significatives

Cette espèce a été observée sur les échantillons G151, G149, G137, G127, G73, G188 et G191.

Planche 6: Minéral indéterminé 2 de Goesdorf, minéral apparenté à la brandholzite $Mg[(Sb(OH)_6)_2(H_2O)_6]$ et à la bottinoite $Ni[(Sb(OH)_6)_2(H_2O)_6]$ - photographie, dessin et données de diffraction de rayons x. © MñhnL, 2007.

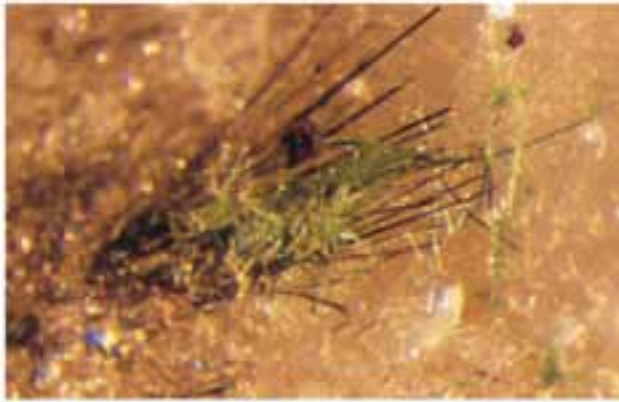
L'analyse par diffraction des rayons x donne quelques raies qui pourraient correspondre à la brochantite, la ramsbäckite ou le chrysocolle. L'intensité diffractée est tellement faible qu'il est impossible de faire un choix.

La présence de silice dans l'analyse et la forme cristalline sub-amorphe de la photo au microscope électronique à balayage plaide en faveur du chrysocolle mais celui-ci ne se présente jamais en fibre comme dans l'échantillon G36.

Nous supposons qu'il s'agit très probablement d'un sulfate de cuivre ... à préciser.

4.27. Minéral indéterminé 4

Des cristaux fibreux et torsadés de composition fort proche de la schafarzikite $FeSb_2O_4$ ont été observés au microscope électronique. Des analyses complémentaires sont nécessaires pour valider cette espèce.



*Minéral indéterminé 3
(spécimen G44, photo Nb55)
phase verte sur chalcostibite*

*Minéral indéterminé 3
(cliché MEB et analyse Edax)*

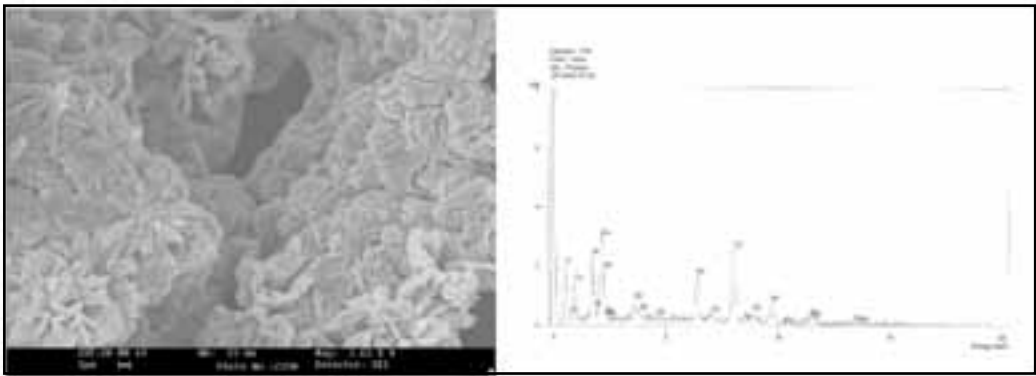


Planche 7: Minéral indéterminé 3 de Goesdorf, phase d'altération verte de la chalcostibine, sulfate de cuivre à préciser - photographie, cliché au microscope électronique à balayage (MEB) avec analyse Edax correspondante. © MnhnL, 2007.

4.28. Autres minéraux

Les autres minéraux identifiés par diffraction des rayons x sont la todorokite, la marcassite (FeS_2), l'hématite (Fe_2O_3), la calcédoine ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$).

Pour être complet, nous ajouterons que sur internet, le site Mindat.com cite en plus les espèces suivantes: aragonite, azurite, cervantite, delafossite, gahnite, gibbsite et tripuyhite. Certaines de ces espèces nous paraissent très douteuses... Ces minéraux ne figurent pas dans notre liste de départ car aucune information sur les méthodes de détermination ne figure sur le site.

5. Métallogénie

La stibine Sb_2S_3 présente une structure en rubans constituée de pyramides SbS_3 mettant en commun leurs arêtes. Hormis le remplacement partiel de

l'antimoine par le bismuth, la stibine étant isotype de la bismuthinite Bi_2S_3 , et l'existence d'une substitution dans la structure d'un atome de soufre par l'arsenic dans la pääkkönenite Sb_2AsS_2 , la stibine présente généralement une composition proche de la composition idéale de l'espèce, avec 71,5% de son poids constitué par l'antimoine.

Hormis la récupération de l'antimoine dans le traitement de minerais des métaux de base et le recyclage des anciennes batteries, la stibine Sb_2S_3 est le principal minerai exploité pour obtenir le régule d'antimoine (Chine, Bolivie, Afrique du Sud, Canada...). Les usages du métal sont multiples et liés à la production des accumulateurs (l'antimoine métal est un des durcisseurs du plomb utilisé dans les batteries) ou à la fabrication du trioxyde d'antimoine utilisé comme additif dans les industries manufacturières (plastique, peinture, verre, ...) en raison de ses différentes

propriétés physiques (retardateur de flamme, catalyseur, décolorant,...)

La rareté du métal Sb qui ne présente qu'une teneur de 0,2 g/t dans la croûte terrestre (l'arsenic y est 10 fois plus abondant), et la multiplicité des usages en font un métal très demandé qui a connu une flambée des cours depuis fin 2003 (L'Usine Nouvelle 19/03/2004). Dans ces conditions, la mise au point en 2005 de mémoires «Flash» à tellure d'antimoine (Philips et IBM) moins énergivores et plus performantes que les mémoires utilisées actuellement en informatique est de nature à prolonger la demande.

Outre l'impact sur les cours du métal, la rareté de l'antimoine et de son principal minerai, la stibine, est génératrice d'un vaste intérêt pour sa métallurgie.

Les différents gisements connus de stibine montrent pratiquement toujours des gisements encaissés dans des séries sédimentaires, constitués de petites entités filoniennes anastomosées et discontinues souvent associées à des structures anticlinales fracturées ou faillées. La proximité avec des phénomènes magmatiques est observée dans certains districts européens (Massif Central, district de Massiac - Brioude) ou chinois (Hunan, Xikuangshan) mais n'est certainement pas générale.

Dans le socle hercynien du massif schisteux rhénan la liaison avec des phénomènes magmatiques n'est pas établie et les travaux de Wagner et Cook (2000) concluent sur la mise en place des minéralisations à quartz - stibine dans des phases tardives postérieures au paroxysme du cycle de plissement hercynien, épisode correspondant à une phase d'extension, sans liaison flagrante avec des phénomènes magmatiques.

La mise en place lors de la phase d'extension, a l'avantage d'expliquer la localisation des minéralisations en quartz-stibine dans les structures ouvertes, faillées et fracturées comme celle de Goesdorf. L'étude des gisements allemands les plus proches (Ahrbruck, Altenhar et Mayen) montre à cet égard l'importance de ces structures dans la localisation des minéralisations (métallogénique) et explique également par le rejet de zones fracturées minéralisées antérieurement, la présence de minéraux d'antimoine plombifères (jamesonite, zinkenite, ...) et cuprifères (chalcotibite, meneghinite,...) par superimposition de la minéralisation en stibine sur des minéralisations

plus anciennes à sidérite, galène (PbS), sphalérite (ZnS) et chalcopyrite (CuFeS₂).

Comme le notent Wagner et Cook (2000), la mise en place de cette minéralisation est liée à une importante circulation de fluides et s'effectue préférentiellement dans les flancs et dans les zones axiales des anticlinaux varisques. La minéralisation débute par la mise en place de cristaux idiomorphe de pyrite arsenicales dans l'encaissant et dans la veine, suivie par l'apparition de sphéroïdes (*patches*) de chlorite, le dépôt de quartz palissadique non déformé et enfin le dépôt de la stibine et du quartz à température décroissante.

L'examen de la succession des phases à Goesdorf montre bien que la pyrite est préférentiellement dans les épontes et rarement dans la stibine, que lorsque exceptionnellement les deux phases coexistent les cristaux de pyrite sont intacts dans la stibine, de plus les 'pressures shadows' existantes autour des cristaux de pyrite sont occupés par des fibres de quartz et de stibine et dans le cas où le cristal de pyrite est fracturé, il est cimenté par la stibine. Cette succession est en accord avec le modèle de Wagner et Cook (2000), et la présence de berthièrite à Goesdorf pourrait s'expliquer par un épuisement du fer nécessaire à la formation de la pyrite et l'entrée du fer dans la structure d'un minéral antimonifère.

Par sa localisation dans une structure anticlinale faillée, par la présence de salbandes argileuses, témoins de la circulation de fluides générant une importante altération de l'encaissant, par la structure palissadique des veines de quartz corrodés et la présence d'une cavité filonienne centrale à recristallisation désorientée du quartz avec de la stibine, le gisement de Goesdorf s'intègre donc bien dans ce type de modèle métallogénique des gisements d'antimoine du massif schisteux rhénan.

L'origine des éléments minéralisateurs est probablement trouvée dans le lessivage par des fluides de volumes importants de roches pyriteuses de l'Ardenne et la minéralisation est formée par le dépôt séquentiel des éléments transportés par refroidissement différentiel (brutal et/ou bullage). Les perspectives ouvertes par l'identification du contexte métallogénique du gisement de Goesdorf suggèrent d'affiner l'origine exacte de ces fluides minéralisateurs par l'étude des rapports isotopique du plomb et du soufre, de la teneur en arsenic de la pyrite des épontes et l'examen des inclusions fluides sur une coupe du filon.

Bibliographie

- Adler R., Fenchel W. & Pilger A. 1982. - Statistische Methoden in der Tektonik II. in Pilger, A. (Hrsg): Clausthaler Tektonische Hefte, Band 4, Ellen Pilger, Clausthal-Zellerfeld.
- Anonyme - 'Einige Daten aus der Geschichte der Antimon-Mine Goesdorf'.
- Anonyme. 1977. - 'Der Berg hütet seinen Schatz, Die Goesdorfer Antimon-Mine'. Luxemburger Wort 207: 11.
- Anthony J., Bideaux R., Bladh K. & Nichols M. 1990. - Handbook of Mineralogy, Vol.1. Elements, Sulfides, Sulfosalts. Mineral Data Publishing, Tucson, Arizona, 588 p.
- Aschman P. 1954. - Eine uralte Öslinger Siedlung: Goesdorf & Schätze der Luxemburger Erde: Goesdorfer Antimon - Revue (Letzeburger Illustre'ert) (17/07/1954), 29: 3-9.
- Baumann L. Nikolskij D. & Wolf M. 1979. - Einführung in die Geologie und Erkundung von Lagerstätten. 1. Aufl., Verlag Glückauf, Essen.
- Baumann L. 1994. - Klassische Erzlagerstätten des Erzgebirges, Aufschluss, 45, 56-66.
- Bielefeld J. 1885. - Plan d'une galerie d'exploration le long de la Sûre (Sauer) le long de la Chaussée vom Heiderscheidergrund (Eisenbachstation - Goebelsmühle), Echelle 1/500, signé par J. Bielefeld, 30 déc. 85 à Aachen.
- Beyschlag F., Krusch P. & Vogt J. 1921. - Die Lagerstätten der nutzbaren Mineralien und Gesteine. Band 2, Erzlagerstätte. 2. Aufl., Enke, Stuttgart.
- Bintz J. et al. 1985. - Der Jura im Trier-Luxemburger Raum. Jahrestagung in Trier vom 16.5-18.5.1985, Trier.
- Bornain S. 2003. - La tectonique cassante dans la région de Stolzenbourg (Grand-duché de Luxembourg) à la lumière de données géophysiques (gravimétrie, magnétisme, spectrométrie gamma et émanométrie radon). Dissertation, Université Catholique de Louvain, Faculté des Sciences, Département de Géologie et de Géographie, Louvain-la-Neuve, 275 p.
- Berg D. 1965. - Die Klüfte im Paläozoikum und Mesozoikum von Luxembourg und der westlichen Eifel. Publ. Serv. Geol. Lux., Vol XVI, Service Geologique du Luxembourg, Luxembourg.
- Campill Jul. 1918. - Die Rechtsverhältnisse der Bergwerke & Steinbrüche im Großherzogtum Luxemburg - Ed. Luxembourg, Druck und Verlag Ed. Nimax Wlithheimstraße 12 : 26-31 et 608-627.
- Cahier des charges pour l'exploitation de la concession de Goesdorf daté du 18 février 1938.
- Carte géologique du Grand-duché de Luxembourg 1974. - Carte géologique du Grand-duché de Luxembourg au 1 :100.000. Version 2. Service Géologique du Luxembourg.
- Carte géologique du Grand-duché de Luxembourg 1998. - Carte géologique du Grand-duché de Luxembourg au 1 :100.000. Version 2.2. Service Géologique du Luxembourg.
- Debbaut V. & Hanson A. 1997. - Etude géophysique du site de l'ancienne mine de Goesdorf pour le compte du Musée national d'histoire naturelle à Luxembourg : prospection magnétique, prospection par la méthode des résistivités. Rapport d'expertise, F.U.L. Arlon, 10 p.
- Ernst Loser 1913. - Plan et coupe AB de l'exploitation à l'échelle 1/1000 datant d'après 1913 (pas de date exacte).
- Everaerts M. 1996. - Réseau gravimétrique à but géodésique du Grand-duché de Luxembourg et calcul du géoïde local. Rapport réalisé pour l'Administration du Cadastre et de la Topographie du Grand-duché de Luxembourg.
- Extrait du plan cadastral de la commune de Goesdorf, Section F de Goesdorf, Echelle 1/2500, Exercice 1994, référence VE dont le titulaire est 'Goesdorf la fabrique d'église 745/2029 mais. pl. 28a20ca.
- Fomino Rasvan. 1994. - Geochemische und metallogenetische Untersuchungen in der Umgebung der antimonführenden Gangvererzung von Goesdorf/Luxemburg. Dissertation, Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät, Geologie, Universität des Saarlandes, Saarbrücken, 177 p.
- Friedrich Evy. 1976. - Goesdorfer Weltrekord, in : Tageblatt, 204: 8.

- Furtak H. 1966. - Die Tektonik der unterdevonischen Gesteinsfolge im deutsch-belgisch-luxemburgischen Grenzgebiet. Geol. Mitt., Band 4, Aachen.
- Guillaume II. 1849. - Arrêté autorisant l'installation d'une fonderie d'antimoine à Goesdorf daté du 23 janvier 1849.
- Heinen G. & Kronz G. 1993. - Die Mineralien des Oeslings - Numéro hors-série de l'AGMP, 1: 19 p.
- Hermann R. 1979. - Untersuchungen zur Bestimmung von Pb, Cu, Zn, As, Se und Sb in den Böden und deren Ausgangsgestein mit ausgewählten Beispielen aus der nördlichen Eifel.- Dissertation, Aachen.
- Jacobs F. & Meyer H. 1992. - Geophysik-Signale aus der Erde. 1. Aufl., B.G. Teubner Verlagsgesellschaft, Stuttgart.
- Junker Henri 1961. - Die Heilig Kreuz-Pfarrei Goesdorf - Sonderdruck der Sankt-Paulus-Druckerei A.G., Luxemburg.
- Kasig W. & Wilder H. 1983. - The Sedimentary Development of the Western Rheinisches Schiefergebirge and the Ardennes (Germany/Belgium). in Martin, H. & Eder, F.W. (Hrsg.): Intacontinental Fold Belts, Springer, Berlin, Heidelberg.
- Knödel K., Krummel H. & Lange G. 1997. - Geophysik. In: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (Hrsg.), Handbuch zur Erkundung des Untergrundes von Deponien und Altlasten, Band 3, Springer, Berlin.
- Konrad H. J. & Wachsmut W. 1973. - Zur Lithologie und Tektonik des Unterdevons im südlichen Ösling Luxemburgs. Publ. Serv. Geol. Lux., Vol XVII, Service Géologique du Luxembourg, Luxembourg.
- Krahn L. 1988. - Buntmetall- Vererzung und Blei-Isotopie im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten.- Dissertation, Aachen.
- Krahn L. & Baumann A. 1996. - Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany, Mineral Deposita, 31: 225-237.
- Lettre de l'administration des Travaux publics adressée au Bourgmestre de Goesdorf datée du 5 janvier 1849 (n°42) et ayant pour objet l'installation d'une fonderie d'antimoine à Goesdorf.
- Lettre de l'administration des Travaux publics à l'Administrateur Général des travaux publics datée du 3 juillet 1854 (n°2286) et ayant pour objet l'obtention d'une concession pour l'exploitation des mines d'antimoine de Goesdorf.
- Lindner H. et al. 1984. - Gravimetrie und Magnetik. in Militzer, H. & Weber, F.(Hrsg.), Angewandte Geophysik, Band 1, Akademie-Verlag, Berlin.
- Lucius M. 1948. - Les gîtes métallifères de l'Ösling. Revue Techn. Luxembourg, Imp. V. Buck, Luxembourg, 4: 228-233
- Lucius M. 1950. - Geologie Luxemburgs, Bd IV: Das Ösling. Publ. Serv. Geol. Lux., Service Géologique du Luxembourg, Luxembourg.
- Lucius M. 1952. - Übersicht über die Geologie Luxemburgs. Z. dt. geol. Ges.,103, Hannover.
- Lunkenheimer C. 1989. - Stratigraphische und tektonische Untersuchungen im Unterdevon des Givonne-Ösling Antiklinoriums. Diplomarbeit, Fachrichtung Angewandte Geochemie, Universität des Saarlandes, Saarbrücken.
- Maquil R., Mosar J. & Thein J. 1984. - Unterdevon-Stratigraphie und variszischer Gebirgsbau im Eislek /Nord-Luxemburg (Exkursion D am 26. und 27. April 1984). Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N. F. 66, Stuttgart.
- McClay K. 1987. - The Mapping of Geological Structures. 1. Edition, Butler & Tanner Ltd, London.
- Meier D. & Kronberg P. 1989. - Klüftung in Sedimentgesteinen. Enke, Stuttgart.
- Mémorial du Grand-duché de Luxembourg n°15 du Samedi 5 mars 1938 - 'Arrêté grand-ducal du 22 février 1938, accordant une concession pour l'exploitation de la mine d'antimoine de Goesdorf', page 236
- Mosar J. 1992. - Structures et dynamique dans l'Ardenne luxembourgeoise vues dans le cadre d'une tectonique chevauchante. Structural Geology, Eislek, Luxembourg. Projet de Recherche R&D/BFR/89012-A1.
- Murawski H. 1982. - Geologisches Wörterbuch. 2. Aufl., Enke, Stuttgart.

- Nies N. 2005. - Geologische Interpretation der Umbeugung der Antimonlagerstätte bei Goesdorf. - Diplomarbeit Universität Trier, 147 p.
- Quiring H. 1945. - Antimon. Die Metallischen Rohstoffe, ihre Lagerungsverhältnisse und ihre wirtschaftliche Bedeutung, Heft 7, Enke Verlag, Stuttgart.
- Ramdohr P. 1975. - Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. 4. Aufl., Akademie-Verlag, Berlin.
- Reuter F. 1853. - Analyse d'un échantillon de minerai d'antimoine de Goesdorf
- Société de Sciences naturelles Grand-duché de Luxembourg, Imprimerie V. Buck, 1 : 94-96.
- Roehl K. 1990. - Geologische Kartierung im Ösling in der Umgebund von Holtz (S-Ardennen, Luxemburg). Diplomarbeit, Geologie, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Schneiderhöhn H. 1962. Erzlagerstätten. 4. Aufl., Fischer Verlag, Stuttgart.
- Schönenberg R. 1979. - Geographie der Lagerstätten. Erträge der Forschung, Bd 103, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt.
- Schönenberg R. & Neugebauer J. 1997. - Einführung in die Geologie Europas. 7. Aufl., Rombach Verlag, Freiburg.
- Schuh W.-D. 2003. - Geodätische Randwertaufgaben: Normalfeld, Normalfigur. Rheinische Friedrich-Wilhelms Universität Bonn, Astronomische, Physikalische und Mathematische Geodäsie, Institut für Theoretische Geodäsie, Bonn.
- Thein J. 1979. - Strategische Erzprospektion mit Hilfe von Oberflächenwässern und deren Sedimenten in Nord-Luxemburg, Publ. Serv. Geol. Luxembourg, 11: 9-39.
- Wagner T. & Cook N.J. 2000. - Late-Variscan antimony mineralisation in the Rheinisches Schiefergebirg, N.W. Germany: evidence for stibnite precipitation by drastic cooling of high temperature fluid system, Mineralium Deposita, 35, 206-222.
- Wagner T. & Schneider J. 2002. - Lead isotope systematics of vein-type antimony mineralization, Rheinisches Schiefergebirge, Germany: a case history of complex reaction and remobilization processes, Mineralium Deposita, 37, 185-197.
- Walter R. 1995. - Geologie von Mitteleuropa. 6. Aufl., E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Yante Jean-Marie 1982. - Les entreprises industrielles de l'arlonais Henri de Vance : mine de Goesdorf (1527), fourneau et forge de La Soye (1538) - Annales de l'institut archéologique du Luxembourg Arlon, Tomes CXII - CXIII : 19-29.

INSTRUCTIONS TO AUTHORS

Please check our internet site <http://www.mnhn.lu> for the latest version of these instructions!

Scope

FERRANTIA is a series of monographic works (20-250 pages in final layout) dealing with life and earth sciences, preferably related in some way or other to the Grand-Duchy of Luxembourg.

It publishes original results of botanical, zoological, ecological, geological, mineralogical, paleontological, geophysical and astrophysical research and related fields.

A complete issue of FERRANTIA may be devoted to several papers on a single topic as the responsibility of an invited editor.

Copyright

The submission of a manuscript to FERRANTIA implies that the paper must not have been accepted for publication or be under consideration elsewhere.

Copyright of a published paper, including illustrations, becomes the property of the publisher. Requests to reproduce material from FERRANTIA should be addressed to the editor.

Reviewing

Articles submitted for publication are reviewed by the editorial board and by one or two referees. The final decision on acceptance or rejection of the manuscript is taken by the editorial board. Manuscripts not prepared according to the following instructions to authors will be returned for correction prior to review.

Nomenclature

Papers with a systematic content should strictly follow the International Codes of Nomenclature.

Specimens

We recommend that the authors should deposit at least a part of the type material in the MNHN collections.

Publication dates

FERRANTIA pays special attention to publication dates, which are always specified to the day of publication.

Manuscripts

Manuscripts, without limitation of the number of pages, must conform strictly to the instructions to authors, and should be sent to the Editor:

FERRANTIA

Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg

25, rue Munster

L-2160 Luxembourg

Format

Manuscripts must be submitted as paper copy in triplicate in A4 format, preferably double-spaced, with margins of at least 3 cm and all pages numbered.

If possible, an electronic version of the text may also be sent as unformatted Word document (PC or MAC) (font Times New Roman, 10 pt). Tables (Word, Excel) and figures (300 dpi in the page size of the journal) may also be sent electronically.

Structure

Papers are to be written in simple, correct and concise French, German or English. They should be organized as follows:

- a brief title (should not include the name of new taxa);
- a suggested running head (no more than 50 characters);
- name(s) and first name(s) of author(s), followed by their full address(es) and, if possible, e-mail or fax number;
- abstracts in English, French and German, each 200-800 words long; new taxa names should be included in the abstract; the abstract should be precise and descriptive, in order to be reproduced as such in data bases; avoid vague sentences such as "three new species are described" or "species are compared to species already known"; include precise differential characters;
- text of the article, in the following order: Introduction, Abbreviations used, Material and methods, Results and/or Observations, Discussion, Acknowledgements, References. The arrangement of the parts "Results/Observations" and "Discussion" may be modulated according to the length and subject of the article; very long papers may include a table of contents;
- for systematic descriptions, each description should follow the order: name of taxon with author and date, synonymy, type material, etymology, material examined, distribution, diagnosis and/or description, remarks.
- description of geological features should include type level, type horizon, type locality. This order may be adapted according to the concerned groups: consult a recent issue of FERRANTIA;
- taxon names must be stated with author (and publication date, separated by a comma, where appropriate) at least once at the first mention. At subsequent mentions of the same taxon, or other taxa of the same genus, the

genus name may be abbreviated (*Rosa canina* L. to *R. canina*).

- use n. sp., n. gen., n. fam., etc. for new taxa;
- use italicized words only for taxa of generic and sub-generic ranks;
- use lowercase characters for authority names
- references to illustrations and tables should be indicated as follows: (Fig. 1), (Fig. a, d), (Fig. 2a-d), (Figs 3; 6), (Figs 3-5; Tab. 2); (Tab. 1); for German texts use Abb. instead of Fig.
- footnotes should not be used.

Tables and figures

Copies of all figures and tables should be included with the manuscript. They can be either included in the text at the correct locations with their legends or referenced in the text and included as annexes.

The editorial board will pay special attention to the quality and relevance of illustrations. Colored illustrations are accepted where appropriate and necessary.

Line drawings must be in Indian ink or high quality laser printouts; high contrast Photographs are required,

Illustrations can be grouped into composite plates the elements of which are identified by letters (a, b, c...). Plates are not placed at the end of the article: they will be considered as figures and numbered as such. Arrange figures to fit in one (70 x 200 mm) or two columns (144 x 200 mm) or one half page (144 x 100 mm). Letters, numbers, etc., for each figure, are to be indicated on an accompanying overlay, not on the original figure. They will be inserted by the printer. A scale bar is required for each figure, when appropriate. No diagram or table is to exceed one page; longer tables should be divided.

References

In main text, references to authors, in lower case, should be presented without comma before year, as follows: Smith (2001), Smith (2001, 2002), (Smith 2001), (Smith 2001; Jones 2002), (Smith & Jones 2003, 2005), (Smith, Jones & Johnson 2003), Smith (2001: 1; 2003: 5), Smith (2001: fig. 2).

References should be presented as follows, in alphabetical order. Do not abbreviate journal names:

Høeg J. T. & Lützen J. 1985. - Comparative morphology and phylogeny of the family Thompsoniidae (Cirripedia: Rhizocephala: Akentrogonida) with description of three new genera and seven new species. *Zoologica Scripta* 22: 363-386.

Marshall C. R. 1987. - Lungfish: phylogeny and parsimony, in Bernis W. E., Burggren W. W. & Kemp N. E. (eds), *The Biology and Evolution of Lungfishes*, *Journal of Morphology* 1: 151-152.

Röckel D., Korn W. & Kohn A. J. 1995. - Manual of the Living Conidae. Volume 1: Indo-Pacific Region. Christa Hemmen, Wiesbaden, 517 p.

Schwaneer T. D. 1985. - Population structure of black tiger snakes, *Notechis ater niger*, on off-shore islands of South Australia: 35-46, in Grigg G., Shine R. & Ehmann H. (eds), *Biology of Australasian Frogs and Reptiles*. Surrey Beatty and Sons, Sydney.

Gerecke R. et al. 2005. - Die Fauna der Quellen und des hyporheischen Interstitials in Luxemburg unter besonderer Berücksichtigung der Milben (Acari), Muschelkrebse (Ostracoda) und Ruderfusskrebse (Copepoda). *Ferrantia* 41, Musée national d'histoire naturelle, Luxembourg, 140 p.

Proofs and reprints

Proofs will be sent to the author (or the first author) for correction and must be returned within two weeks by priority air mail. Authors will receive twenty-five reprints free of charge; further reprints can be ordered at a charge indicated on a form supplied with the proofs.

Page layout of final publication

paper size	170 x 240 mm
page size	144 x 200 mm
number of columns	2
column width	70 mm
space between columns	4 mm
top margin	22 mm
bottom margin	18 mm
inside margin	15 mm
outside margin	11 mm

Fonts

Body text: Palatino linotype (serif), 9pt

Titles, legends, headers, footers: Trebuchet (sans-serif)

LISTE DES NUMÉROS PARUS À CETTE DATE:

Les volumes de la série «FERRANTIA» paraissent à intervalles non réguliers.

Travaux scientifiques du Musée national d'histoire naturelle (1981-1999)

- I Atlas provisoire des Insectes du Grand-Duché de Luxembourg. Lepidoptera. 1^{ère} partie (Rhopalocera, Hesperidae). Marc Meyer et Alphonse Pelles, 1981.
- II Nouvelles études paléontologiques et biostratigraphiques sur les Ammonites du Grand-Duché de Luxembourg, de la Province du Luxembourg et de la région Lorraine attenante. Pierre L. Maubeuge, 1984.
- III Revision of the recent Western Europe species of genus *Potamocypris* (Crustacea, Ostracoda). Part 1: Species with short swimming setae on the second antennae. Claude Meisch, 1984.
- IV Hétéroptères du Grand-Duché de Luxembourg
1. *Psallus (Hylopsallus) pseudoplatani* n. sp. (Miridae, Phyllinae) et espèces apparentées. Léopold Reichling, 1984.
2. Quelques espèces peu connues, rares ou inattendues. Léopold Reichling, 1985.
- V La bryoflore du Grand-Duché de Luxembourg: taxons nouveaux, rares ou méconnus. Ph. De Zuttere, J. Werner et R. Schumacker, 1985.
- VI Revision of the recent Western Europe species of genus *Potamocypris* (Crustacea, Ostracoda). Part 2: Species with long swimming setae on the second antennae. Claude Meisch, 1985.
- VII Les Bryozoaires du Grand-Duché de Luxembourg et des régions limitrophes. Gaby Geimer et Jos. Massard, 1986.
- VIII Répartition et écologie des macrolichens épiphytiques dans le Grand-Duché de Luxembourg. Elisabeth Wagner-Schaber, 1987.
- IX La limite nord-orientale de l'aire de *Conopodium majus* (Gouan) Loret en Europe occidentale. Régine Fabri, 1987.
- X Epifaune et endofaune de *Liogryphaea arcuata* (Lamarck). Contribution à l'écologie des populations de *Liogryphaea arcuata* (Lamarck) dans le Sinémurien au NE du Bassin de Paris. Armand Hary, 1987.
- XI Liste rouge des Bryophytes du Grand-Duché de Luxembourg. Jean Werner, 1987.
- XII Relic stratified scress occurrences in the Oesling (Grand-Duchy of Luxembourg), approximate age and some fabric properties. Peter A. Riezebos, 1987.
- XIII Die Gastropodenfauna der «angulata-Zone» des Steinbruchs «Reckingerwald» bei Brouch. Hellmut Meier et Kurt Meiers, 1988.
- XIV Les lichens épiphytiques et leurs champignons lichénicoles (macrolichens exceptés) du Luxembourg. Paul Diederich, 1989.
- XV Liste annotée des Ostracodes actuels non-marins trouvés en France (Crustacea, Ostracoda). Claude Meisch, Karel Wouters et Koen Martens, 1989.
- XVI Atlas des lichens épiphytiques et de leurs champignons lichénicoles (macrolichens exceptés) du Luxembourg. Paul Diederich, 1990.
- XVII Beitrag zur Faunistik und Ökologie der Schmetterlinge im ehemaligen Erzabbaugebiet "Haardt" bei Düdelingen. Jos. Cungs, 1991.
- XVIII Moosflora und -Vegetation der Mesobrometen über Steinmergelkeuper im Luxemburger und im Bitburger Gutland. Jean Werner, 1992
- 19 Ostracoda. Nico W. Broodbakker, Koen Martens, Claude Meisch, Trajan K. Petkovski and Karel Wouters, 1993.
- 20 Les haies au Grand-Duché de Luxembourg. Konjev Desender, Didier Drugmand, Marc Moes, Claudio Walzberg, 1993.
- 21 Ecology and Vegetation of Mt Trikora, New Guinea (Irian Jaya / Indonesia). Jean-Marie Mangen, 1993.
- 22 A checklist of the recent non-marine ostracods (Crustacea, Ostracoda) from the inland waters of South America and adjacent islands. Koen Martens & Francis Behen, 1993.
- 23 Ostracoda. Claude Meisch, Roland Fuhrmann, Karel Wouters, Gabriele Beyer and Trajan Petrovski, 1996.
- 24 Die Moosflora des Luxemburger Oeslings. Jean Werner, 1996.

- 25 Atlas des ptéridophytes des régions lorraines et vosgiennes, avec les territoires adjacents, Georges Henri Parent, 1997.
- 26 Evaluation de la qualité des cours d'eau au Luxembourg en tant qu'habitat pour la loutre. Groupe Loutre Luxembourg, 1997.
- 27 Notes Paléontologiques et Biostratigraphiques sur le Grand Duché de Luxembourg et les régions voisines. Pierre Louis Maubeuge & Dominique Delsate, 1997.
- 28 Die Moosflora der Kleinen Luxemburger Schweiz (Müllertal). Florian Hans, 1998.
- 29 Etude sur les genres *Globorilusopsis* Maubeuge, 1994 et *Simoniceras* n. gen. du Lias Supérieur du Grand-Duché de Luxembourg (Calyptotomati-da). Pierre Louis Maubeuge, 1998.
- 30 L'Ichthyofaune du Toarcien luxembourgeois. Cadre général et catalogue statistique. Dominique Delsate, 1999.
- 31 Proceedings of the 3rd European Batdetector Workshop. 16-20 August 1996 Larochette (Lux.). Christine Harbusch & Jacques Pir (eds.), 1999.
- 32 Les collections paléontologiques du Musée national d'histoire naturelle de Luxembourg. Fossiles du Trias et du Jurassique. Dominique Delsate, Chris Duffin & Robi Weis, 1999.
- FERRANTIA (2002-)**
- 33 Die Fledermäuse Luxemburgs (Mammalia: Chiroptera). Christine Harbusch, Edmée Engel, Jacques Pir, 2002.
- 34 The Protura of Luxembourg. Andrzej Szeptycki, Norbert Stomp, Wanda M. Weiner, 2003.
- 35 Liste rouge des bryophytes du Luxembourg. Jean Werner, 2003.
- 36 Paléontologie au Luxembourg. Simone Guérin-Franiatte (éd.), 2003.
- 37 Verbreitungsatlas der Amphibien des Großherzogtums Luxemburg. Roland Proess (éd.), 2003.
- 38 Trois études sur la Zone Rouge de Verdun. I. Herpétofaune. II. La diversité floristique. III. Les sites d'intérêt botanique et zoologique. Georges H. Parent, 2004.
- 39 Verbreitungsatlas der Heuschrecken des Großherzogtums Luxemburg. Roland Proess, 2004.
- 40 Les macrolichens de Belgique, du Luxembourg et du nord de la France - Clés de détermination. E. Sérusiaux, P. Diederich & J. Lambinon, 2004.
- 41 Die Fauna der Quellen und des hyporheischen Interstitials in Luxemburg unter besonderer Berücksichtigung der Milben (Acari), Muschelkrebse (Ostracoda) und Ruderfusskrebse (Copepoda). Reinhard Gerecke, Fabio Stoch, Claude Meisch, Isabel Schrankel, 2005.
- 42 Red List of the Vascular Plants of Luxembourg. Guy Colling, 2005.
- 43 Contribution à la climatologie du Luxembourg. Analyses historiques, scénarios futurs. Christian Ries (éd.), 2005.
- 44 Sandstone Landscapes in Europe - Past, Present and Future. Proceedings of the 2nd International Conference on Sandstone Landscapes. Vianden (Luxembourg) 25-28.05.2005. Christian Ries & Yves Krippel (Editors), 2005.
- 45 Additions et corrections au catalogue des plantes vasculaires de l'arrondissement de Montmédy. Etude sur l'évolution séculaire de la flore. Georges H. Parent, 2006.
- 46 Beiträge zur Paläontologie de Unterdevons Luxemburgs (1). Christian Franke (Hrsg.), 2006.
- 47 Verbreitungsatlas der Libellen des Großherzogtums Luxemburg. Roland Proess, 2006.
- 48 Les Hêtres tortillardes, *Fagus sylvatica* L. var. *tortuosa* Pépin, de Lorraine, dans leur contexte européen. Georges H. Parent, 2006.
- 49 Inventaire minéralogique du Luxembourg - Stolzembourg, Schimpach, Goesdorf. Simon Filippo (éd.), 2007.

Envoyez votre commande aux adresses indiquées à la page 2 de la couverture.
