

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES

PUBLICATIONS DU SERVICE GÉOLOGIQUE DU LUXEMBOURG
VERÖFFENTLICHUNGEN DES LUXEMBURGER GEOLOGISCHEN DIENSTES

VOLUME XXX

LES FORMES D’AFFAISSEMENT MINIER
DANS LE
BASSIN FERRIFÈRE LUXEMBOURGEOIS

ALEX STORONI

LUXEMBOURG 2001
SERVICE GÉOLOGIQUE DU LUXEMBOURG

GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS
ADMINISTRATION DES PONTS ET CHAUSSÉES

PUBLICATIONS DU SERVICE GÉOLOGIQUE DU LUXEMBOURG
VERÖFFENTLICHUNGEN DES LUXEMBURGER GEOLOGISCHEN DIENSTES

VOLUME XXX

LES FORMES D’AFFAISSEMENT MINIER
DANS LE
BASSIN FERRIFÈRE LUXEMBOURGEOIS

ALEX STORONI

LUXEMBOURG 2001
SERVICE GÉOLOGIQUE DU LUXEMBOURG

Thèse de géographie physique
Université de Nancy 2
2000

ISBN 2-919994-05-0

Avant-propos

La présente recherche a été entreprise, dans une première étape, comme projet de recherche exécuté au titre 1 de la loi sur la Recherche et le Développement du 3 mars 1987, sous le numéro MEN/CUL/98/001 (Ministère de l'Education Nationale / Centre Universitaire de Luxembourg).

La recherche a été poursuivie ensuite sous la direction du Professeur André Weisrock en vue de la préparation d'une thèse de doctorat en géographie physique. La thèse a été soutenue en décembre 2000 devant un jury de l'Université de Nancy 2.

Mes sincères remerciements s'adressent à toutes les personnes qui, d'une manière ou d'une autre, ont contribué à la réussite de cette entreprise et tout particulièrement

- au Professeur André Weisrock pour ses conseils judicieux et pour son soutien sans faille,
- à mon frère et à mon fils pour m'avoir aidé à prendre les mesures sur le terrain,
- à toutes les personnes qui m'ont fourni des renseignements ou qui m'ont aidé dans la collecte des documents et des plans d'exploitation, notamment MM. P. Bosseler, R. Conter, R. Klein, Ch. Storoni, W. Dörfler de l'Institut für Ur- und Frühgeschichte de Kiel, R. Huberty de l'Inspection du Travail et des Mines, C. Meder des Archives Nationales, J. Metzler du Musée National d'Histoire et d'Art, M. Müller de l'Administration Communale de Differdange,
- à Monsieur Robert Maquil, directeur du Service Géologique du Luxembourg, pour avoir repris la thèse dans les publications de son service.

Résumé

L'étude géomorphologique a porté sur les formes d'affaissement qui se sont produites dans le bassin minier luxembourgeois depuis le milieu du 19^e siècle et qui y sont particulièrement nombreuses et variées.

La cartographie des affaissements miniers a révélé une répartition inégale aussi bien en ce qui concerne la densité des creux de subsidence que la variété de leurs formes. Ces différences s'expliquent par les données changeantes du milieu naturel autant que par les stipulations de la législation minière et les modes d'exploitation qui ont prévalu au Luxembourg.

L'analyse de dix sites d'investigation représentatifs a permis de définir les mécanismes qui ont engendré les différentes formes d'affaissement. Elles tiennent d'abord des techniques minières et de la mécanique des roches de couverture qui, ensemble, sont responsables des mouvements de terrain verticaux. Elles se développent ensuite sous les effets des mouvements de terrain qui s'opèrent en surface et qui altèrent les creux initiaux en fonction des conditions locales du milieu naturel (nature des formations superficielles, fissuration des roches, pente topographique, etc.) et du temps écoulé depuis leur apparition. Elles dépendent finalement de l'action de l'homme qui a transformé les creux de subsidence dans la mesure où il réutilisait les terrains affectés par les affaissements. Cette réhabilitation des terrains a abouti à un nouveau type de "formes d'atténuation" très répandues.

A côté des formes authentiques d'affaissement, on rencontre également sur les mêmes sites des pseudo-formes qui leur ressemblent au point de pouvoir être confondues avec elles, mais qui sont liées à d'autres types d'activité minière.

Afin de pouvoir classifier le grand nombre de formes inventoriées, une typologie comprenant les formes authentiques, les formes dérivées et les pseudo-formes a été élaborée.

Mots-clés

affaissements miniers, géoarchéologie des paysages, géomorphologie minière, géomorphologie anthropique, mouvements de terrain

Abstract

This geomorphological investigation focuses on the mining subsidence forms which have occurred in the Luxembourg mining basin since the middle of the 19th century and are particularly numerous and diverse.

The mapping of the mining subsidence forms has shown that both their number and their type vary all over the mining basin. The changing of the environmental conditions as well as the mining regulations and techniques have to be held responsible for these differences.

Ten investigated sites have made it possible to define the mechanisms which have generated the different subsidence forms. Multiple causes have emerged during this analysis, depending primarily on the mining techniques and the rock mechanics of the overburden, both of which are responsible for the downward earth movements. The horizontal earth movements then change the initial shape of the subsidence forms according to the local environmental conditions (the nature of the superficial deposits, the rock fissuration patterns and the steepness of slopes among others) and depending on their age. Furthermore, man has altered the collapse sinks and the cracks where he intended to reuse the land previously damaged by mining subsidence occurrences. This effort of rehabilitation has led to a new widespread type of "attenuated forms".

On top of the authentic subsidence forms pseudoforms can be found in the same areas which resemble the former ones to a point where they are easily mistaken for them. They are, however, linked to other types of mining activity.

In order to classify the vast number of diverse subsidence forms a typology in terms of authentic forms, derived forms and pseudoforms has been worked out.

Key-words

mining subsidence, landscape geoarcheology, mining geomorphology, anthropic geomorphology, earth movements

Introduction

L'exploitation minière souterraine s'est étendue dans le bassin minier luxembourgeois sur une durée de 140 ans. Les affaissements de terrain ont accompagné, tout au long de cette période, les activités d'extraction du minerai de fer oolithique et continuent à se produire encore de nos jours. Mis à part les propriétaires des terrains directement concernés, les habitants et les autorités n'avaient montré que peu d'intérêt pour ce problème dans la mesure où le "haut pays" n'était - en-dehors de deux fermes et d'une poignée de maisons - pas habité et que l'agriculture avait fini par s'accommoder des nuisances résultant de l'exploitation minière.

Ces dernières années pourtant, à la suite des efforts entrepris pour reconverter le bassin sidérurgique en crise, le manque en terrains capables d'accueillir les nouvelles infrastructures urbaines et industrielles s'est fait sentir dans toutes les communes du bassin et les terrains qui avaient précédemment subi les effets de l'exploitation ont connu un regain d'intérêt. Après les premiers déboires (plusieurs projets ont dû être abandonnés, d'autres sont restés en suspens à cause de l'instabilité présumée ou réelle du sous-sol), des questions concernant la nature des affaissements potentiels et les éventuelles zones à risques se sont posées avec d'autant plus d'acuité que les problèmes concernant les affaissements n'avaient pas été étudiés jusque-là.

En même temps, des intérêts géoarchéologiques et patrimoniaux se sont manifestés pour tout ce qui était lié aux anciennes activités minières dont les traces risquaient d'être effacées. Un certain nombre de sites miniers ont été aménagés en zones naturelles et récréatives avec des sentiers présentant et expliquant les différents vestiges de l'exploitation minière. Dans ce contexte s'est alors posé le problème de l'interprétation des nombreuses formes de relief en creux qui, pour être semblables, n'en pouvaient pas moins avoir des origines différentes.

Le bassin minier luxembourgeois présente, du point de vue des formes d'affaissement, de notables différences avec la plupart des autres bassins miniers et notamment aussi avec le bassin lorrain dont il constitue le prolongement. Cette spécificité se manifeste par un très grand nombre de formes d'affaissement variées et de petite taille, là où - ailleurs - on observe surtout de vastes dépressions monotones. Ces différences sont à mettre sur le compte de la faiblesse du recouvrement qui va de quelques mètres à quelques dizaines de mètres au Luxembourg, mais peut dépasser 200 m en Lorraine. Elles sont dues également à l'exiguïté des concessions luxembourgeoises dont la superficie n'excède guère 100 ha, alors qu'elle peut atteindre plusieurs milliers d'hectares en France.

L'étude qui est présentée ici a pour but d'expliquer les formes d'affaissement issues de l'exploitation du minerai de fer oolithique qui s'est poursuivie au Luxembourg de 1841 à 1981, date de la fermeture de la dernière mine souterraine. Parmi tous les aspects que peut recouvrir l'étude des formes d'affaissement (ingénierie minière, formes de relief en rapport avec la mécanique des roches, risques d'affaissement encourus, gestion des affaissements, etc.) la priorité a été accordée au rôle de l'homme en tant qu'agent géomorphologique. Cet objectif général recouvre plusieurs objectifs spécifiques:

- décrire et expliquer la répartition et la variété des formes d'affaissement en fonction des données du milieu et des techniques d'exploitation minière

Les conditions législatives et techniques dans lesquelles l'exploitation s'est faite ont conduit - en conjonction avec les données du milieu naturel - à de multiples formes de relief coexistant sur une superficie à peine supérieure à une vingtaine de kilomètres-carrés. Cette multiplicité des formes s'est encore accrue par le fait que l'érosion a pu, peu à peu et de façon inégale, altérer les formes d'affaissement initiales.

- expliquer les mécanismes de formation des différentes formes d'affaissement et distinguer les véritables formes d'affaissement des pseudo-formes

Le grand nombre de facteurs intervenus dans la formation des creux d'affaissement et surtout les stades très inégaux dans lesquels se trouvent les différents groupes de creux, n'ont pas permis de faire une véritable analyse factorielle sur base de fiches signalétiques, comme on le fait couramment dans l'analyse des mouvements de terrains, et ceci d'autant moins que les documents concernant l'exploitation minière, sur lesquels une telle étude devrait nécessairement se baser, sont très fragmentaires. L'analyse des formes d'affaissement faite dans ces circonstances reste nécessairement plus qualitative que quantitative.

L'altération, voire l'élimination par l'homme des creux d'affaissement a accompagné dès le début leur apparition. Suivant les droits de propriété des terrains et la nature de leur utilisation, les mesures prises furent très inégales et allaient du simple abandon des terres au dédommagement sans réfection et jusqu'au rétablissement complet de la surface initiale.

La présence, aux mêmes endroits, de formes de relief ressemblant très fortement aux formes d'affaissement mais liées à d'autres activités humaines (extraction de roches dans de petites carrières, exploitation du minerai de fer fort dans des minières du plateau) ont posé le problème de la distinction des formes d'affaissement authentiques de celles qui ont eu une origine différente. Encore bien davantage que

l'analyse des véritables formes d'affaissement, celle des pseudo-formes est tributaire de la disponibilité de documents historiques venant corroborer les interprétations pouvant être faites sur la base des observations de terrain. Or, si heureusement dans beaucoup de cas des documents et témoignages peuvent être présentés, il n'en est pas moins vrai que, pour celles des formes en creux pour lesquelles on ne dispose pas de critère discriminatoire sûr, une certaine réserve reste de mise.

Dans la présente étude, on n'a pu tenir compte des risques d'affaissement que d'une manière indirecte. En effet, l'établissement d'une véritable carte des risques dans un vieux bassin minier dont les mines ne sont plus accessibles exige des moyens géotechniques très importants. On ne pourra dégager ici que quelques éléments d'information sur la nature de ces risques pour autant qu'ils découlent de l'étude de la répartition des creux d'affaissement et de l'observation des effondrements récents.

- dégager une typologie génétique des formes d'affaissement

C'est là le but ultime du travail. La typologie des formes doit tenir compte de l'ensemble des mécanismes qui ont contribué à les façonner. Dans ce contexte, il importe de faire la part des choses entre trois types de formes en creux qui peuvent se rencontrer au-dessus des terrains exploités par mines souterraines:

- les formes d'affaissement directes, c'est-à-dire celles qui résultent d'effondrements qui se sont produits dans les mines sous-jacentes et qui n'ont évolué que sous la seule action de l'érosion naturelle dont les effets dépendent du temps plus ou moins long qui s'est écoulé depuis leur apparition,
- les formes d'affaissement dérivées qui sont également le résultat d'effondrements miniers mais qui, par la suite, ont été fondamentalement altérées par l'homme,
- les pseudo-formes d'affaissement qui, tout en ayant des aspects semblables, ont néanmoins des origines différentes.

Au cours de l'été 1997, un premier inventaire des affaissements du bassin minier a été fait sur le terrain et les principaux affaissements ont été reportés sur des cartes au 1:10 000. L'étude préalable des différentes séries de cartes topographiques et des photos aériennes n'avait donné que peu de résultats, car les cartes topographiques ne mentionnent que rarement les petites formes en creux, et la grande majorité des creux d'affaissement se trouvent sous couvert forestier et ne sont pas visibles sur les photos aériennes.

De 1997 à 2000, les principaux sites ont été revisités à intervalles réguliers pour constater les changements intervenus entre-temps. Au printemps 2000,

un deuxième inventaire général sur le terrain a été fait. Les cartes de répartition des creux d'affaissement traduisent la situation trouvée lors de ce deuxième inventaire.

Dix sites ont été retenus en vue d'une étude approfondie. Leur sélection s'est faite avant tout sur la base de la représentativité des formes d'affaissement qui s'y trouvaient, mais aussi par rapport à la faisabilité de l'étude qui dépendait très largement de la disponibilité des plans d'exploitation indispensables à l'interprétation des formes.

Parallèlement aux études de terrain, des investigations ont été conduites aux Archives de l'Etat, auprès de l'Inspection du Travail et des Mines et auprès de collectionneurs privés en vue de retrouver les plans d'exploitation correspondant aux sites étudiés. Malheureusement bon nombre de ces documents n'existent plus ou ne sont pas accessibles.

Première partie:

Le bassin ferrifère luxembourgeois,
son exploitation et la répartition des
formes d'affaissement

Chapitre 1

Le bassin ferrifère

et son exploitation

1.1 Le bassin ferrifère

1.1.1 La situation

Le bassin ferrifère se situe au SW du Luxembourg, dans l'angle formé par les frontières française et belge (fig. 1). Il constitue le prolongement septentrional du bassin lorrain. Au Luxembourg, les terrains miniers ont une étendue totale de 3 670 ha, contre 113 257 ha en France et 352 ha en Belgique. (F. Bosseler, 1956)

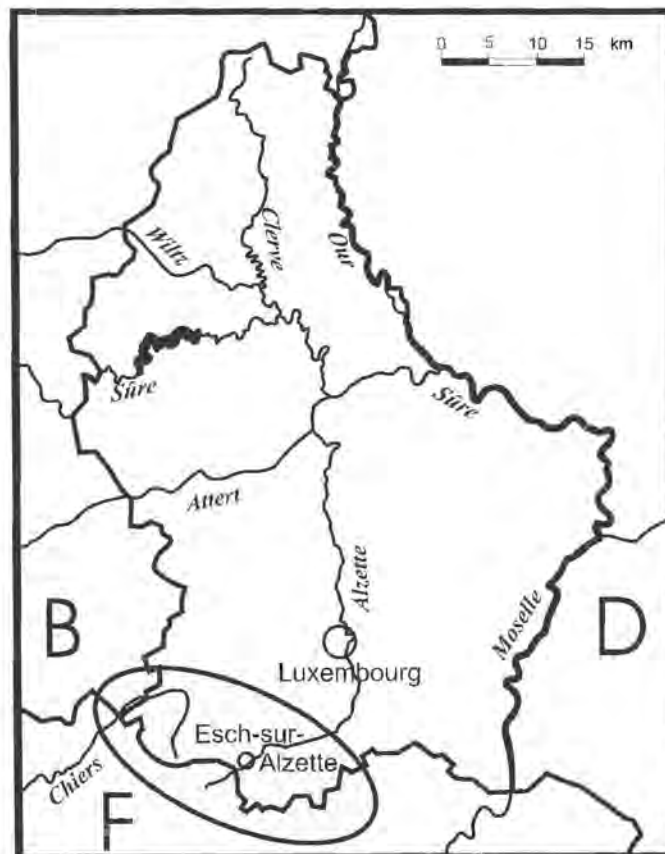


Figure 1: Le bassin ferrifère luxembourgeois

Au nord du bassin ferrifère, une série de centres sidérurgiques forment une ceinture urbaine continue depuis Rodange jusqu'à Dudelange (fig. 2).

La Chiers à l'ouest et l'Alzette à l'est de la ligne de partage des eaux entre les bassins versants du Rhin et de la Meuse drainent, ensemble avec leurs affluents, le bassin minier luxembourgeois.

Comme la formation de la minette est de nature différente de part et d'autre de l'Alzette, on a distingué deux bassins, à savoir le bassin de Differdange et le bassin d'Esch-sur-Alzette (fig.2).

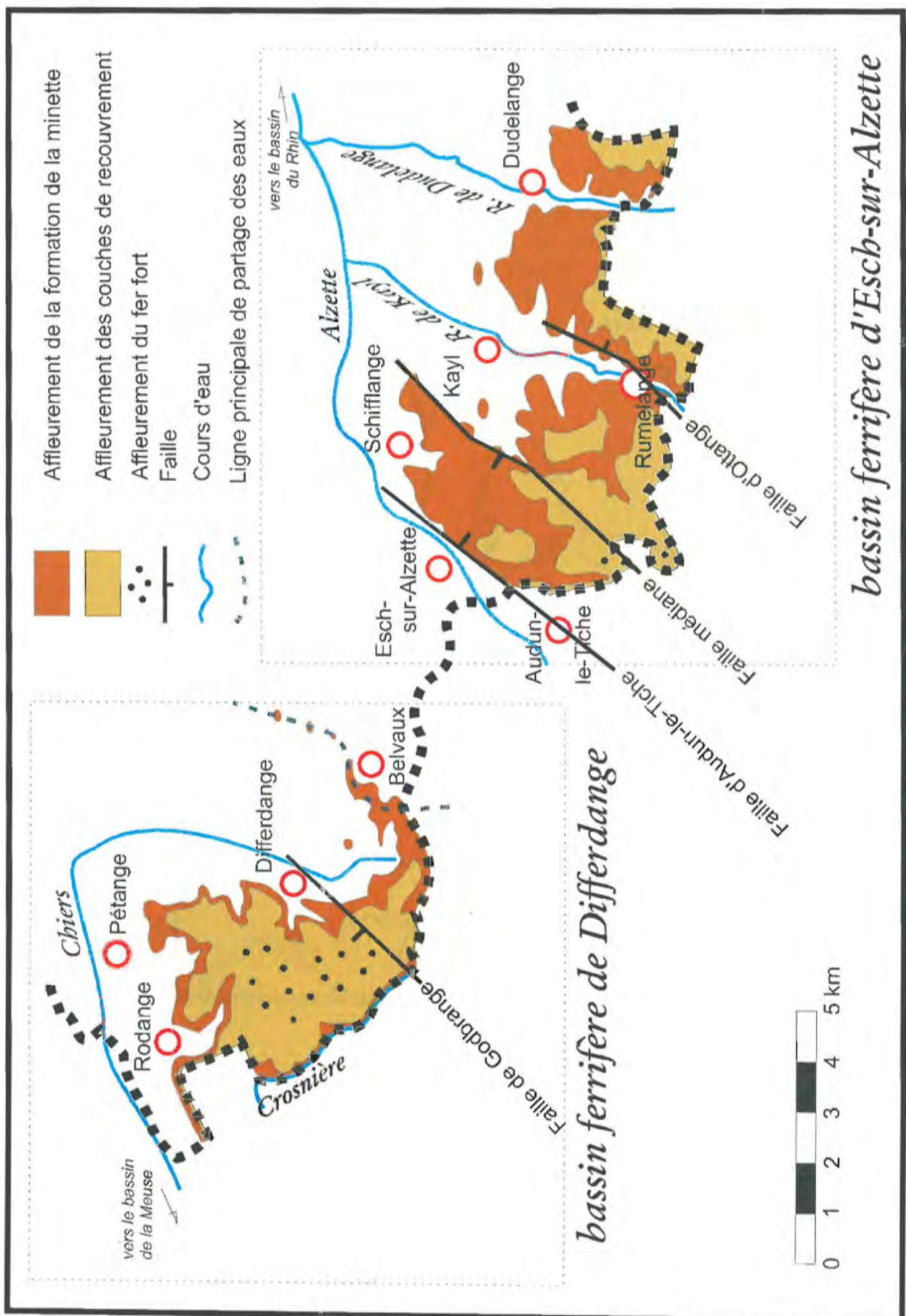


Figure 2: La formation de la minette et les couches de recouvrement dans les bassins ferrifères de Differdange et d'Esch-sur-Alzette

1.1.2 Le sous-sol

Les couches géologiques du bassin ferrifère ont un pendage général de quelque 2° en direction du sud-ouest. Plusieurs failles importantes de direction SW-NE à SSW-NNE traversent le bassin (fig. 2). La faille de Godbrange accuse un rejet de 25 m, de regard NW, près de la frontière française, de 10 m près de Differdange. Le rejet de la faille d'Audun-le-Tiche, de regard SW, est de 100 m à la hauteur d'Audun-le-Tiche et de 30 m près de Schifflange. La faille médiane a un rejet, de regard NW, qui atteint 45 m au sud et 20 m au nord. La faille d'Ottange accuse un rejet, de regard SW, de faible importance qui n'est, au Luxembourg, nulle part supérieur à 10 m (M. Lucius, 1945)

Les failles de Godbrange et d'Audun-le-Tiche déterminent entre elles un horst; la faille d'Audun-le-Tiche et la faille médiane un fossé tectonique. La faille médiane et la faille d'Ottange délimitent entre elles de nouveau un horst qui est cependant de faible importance (fig. 2).

Les couches de base de la formation de la minette (lo1-lo5) sont formées de marnes (fig. 3). La partie supérieure du Toarcien (lo6-lo7) et l'étage unique de l'Aalénien (dou) regroupent, dans l'ensemble, une douzaine de couches de minerai de fer oolithique, séparées par autant de couches intermédiaires stériles composées de calcaires, de grès et de grès marneux. L'ensemble de ces couches porte le nom de formation de la minette. Son épaisseur, très inégale selon les endroits, varie de 15 à 65 m (M. Lucius, 1945).

La formation de la minette se compose de deux faisceaux de minerai: le **faisceau siliceux** du Toarcien supérieur (rapport $\text{CaO/SiO}_2 < 1,4$) et le **faisceau calcaire** de l'Aalénien (rapport $\text{CaO/SiO}_2 > 1,4$) (fig. 3):

*"Le **faisceau siliceux** comprend quatre couches de minerai de fer siliceux bien développées dans tout le bassin de Differdange et dans la partie occidentale du bassin d'Esch. La partie orientale de ce bassin ne renferme pas de couches siliceuses exploitables. ... [Le] **faisceau calcaire**. Dans le bassin d'Esch, ce faisceau se présente avec une belle ampleur et comprend quatre couches principales et 3 à 4 couches d'ordre secondaire: Dans le bassin de Differdange ... le faisceau calcaire ne comprend que deux couches de peu d'importance. Les deux bassins sont séparés par la faille d'Audun-le-Tiche et la différence dans le développement des couches se constate exactement de part et d'autre de cette faille." (M. Lucius 1952, p. 328)*

Le Bajocien inférieur débute par des argilites marneuses (dom1), les marnes micacées, qui ont une dizaine de mètres d'épaisseur. Elles sont recouvertes par une vingtaine de mètres de marnes et de bancs calcaires (dom2), suivies à leur tour par des calcaires durs d'une épaisseur totale de quelque 40 m.

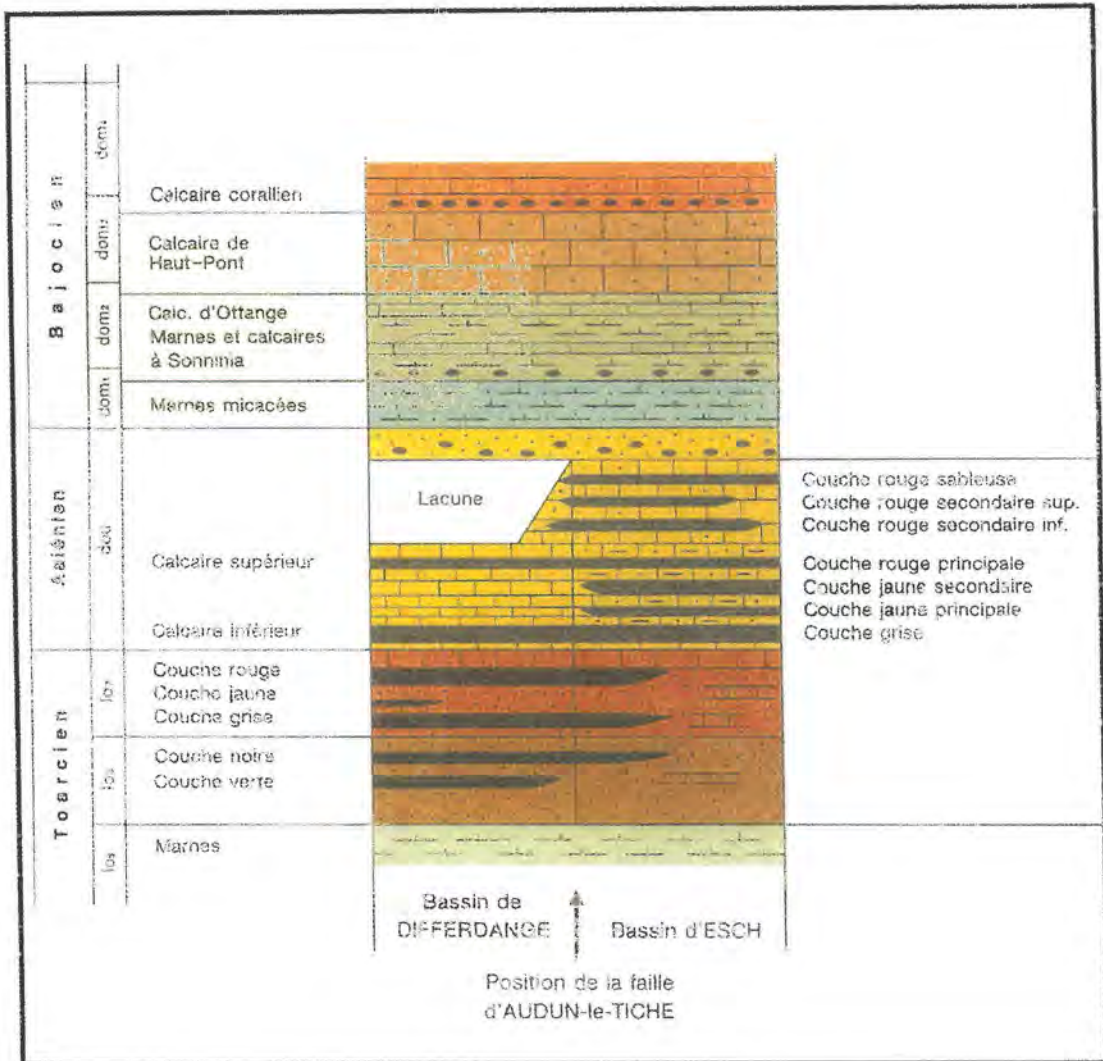


Figure 3: La formation de la minette et les couches de recouvrement (dom1-dom4) (Extrait de la carte géologique du Luxembourg, feuille no 12, 1:25 000, Service de Géologie 1988)

La formation de la minette (lo6, lo7 et dol) se compose d'un faisceau siliceux (bassin de Differdange) et d'un faisceau calcaire (bassin d'Esch-sur-Alzette) qui comprennent chacun un nombre variable suivant les endroits de couches ferrifères (en noir) et de couches intercalaires dites stériles.

Les couches de recouvrement et les couches ferrifères sont très fissurées. L'orientation des principaux **faisceaux de fissures** ne reste pas constante à travers tout le bassin:

- dans le bassin de Differdange, les fissures ont une direction dominante S-N et une direction secondaire W-E,
- dans le bassin d'Esch-sur-Alzette, l'orientation des fissures oscille entre les directions SSW-NNE et SW-NE. L'orientation secondaire est WNW-ESE. (D. Berg, 1965)

Les couches du bassin ferrifère renferment deux **nappes d'eau souterraines** qui occupent l'une l'aquifère de la minette et l'autre l'aquifère des calcaires du Bajocien. Elles sont séparées par la mince couche imperméable des marnes micacées.

1.1.3 La formation du "fer fort"

Les calcaires coralliens du Bajocien portent une formation superficielle appelée minerai de fer pisolitique ou minerai de fer fort. Il s'agit d'un dépôt de type latéritique, d'âge éocène, issu du démantèlement des couches calcaires et marneuses sus-jacentes. Ce dépôt se compose essentiellement d'argiles de décalcification dans lesquelles sont enfouis des nodules de fer de quelques centimètres de diamètre, qui peuvent s'agglomérer en blocs de taille importante. Des roches plus compactes, parfois cavernueuses, se rencontrent également. La proportion en fer peut dépasser 50 %. (M. Lucius, 1945; D. Kaboth, 1969)

La formation du fer fort est le mieux représentée sur le plateau de Differdange, où elle remplit des entonnoirs (fig. 4) et des crevasses d'origine karstique dont la profondeur peut dépasser 10 m. En couverture sur le plateau, l'épaisseur de la formation est rarement supérieure à quelques décimètres. (A. de Prémoré, 1855; P. Schiltz, 1925) Sur le plateau de Rumelange le fer fort n'apparaît que, le long de la frontière française, dans des creux isolés d'origine karstique.

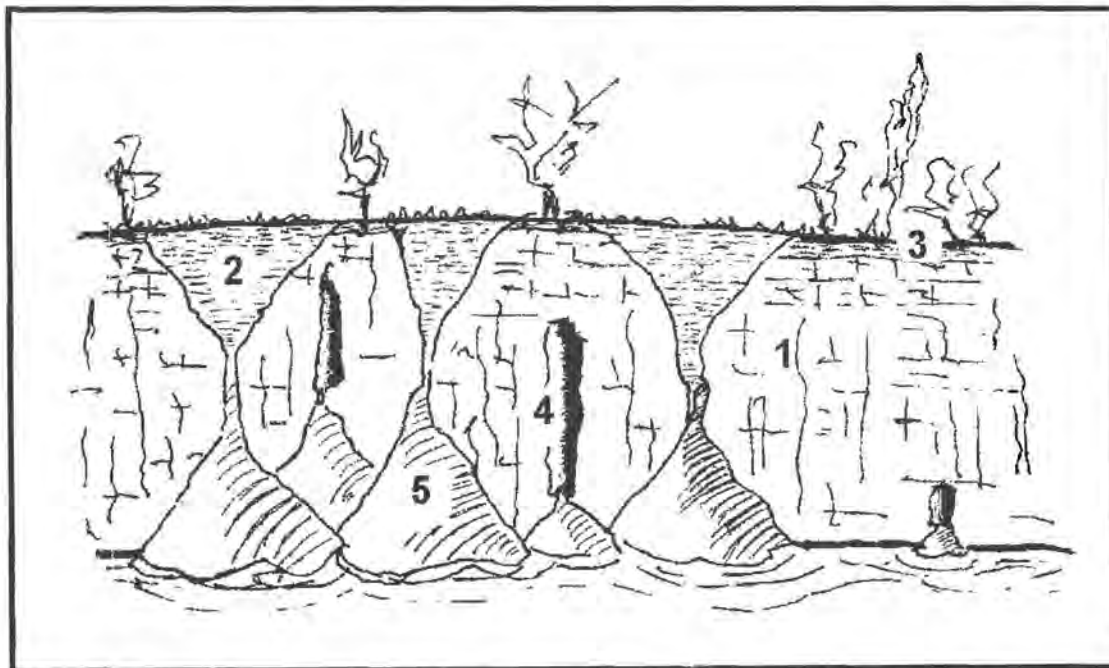


Figure 4: La formation du fer fort dans la carrière Klängelbur près de Differdange (A. Storoni, 1975)

1 calcaire corallien; 2 poche de fer fort; 3 couche superficielle de fer fort; 4 creux karstique; 5 accumulation de fer fort dans les cônes de débris

1.1.4 *Le relief*

Le relief du bassin ferrifère est déterminé par la **cuesta bajocienne** ou "Côte de Moselle" (fig. 5) dont le front - au Luxembourg - est orienté E-W. Les couches de minerai de fer oolithique font partie des couches dures qui forment le front de cuesta. Elles affleurent sur le front de cuesta et sur les versants des vallées qui entaillent le plateau. Le commandement de la cuesta est de l'ordre de 100 m. Il est plus important à l'ouest, où la Chiers a surcreusé la dépression au pied du front de côte. Le festonnement prononcé du front de cuesta est dû à la fois à la structure tectonique (ondulations et failles) et à l'érosion fluviale. En divisant le bassin ferrifère en deux parties, l'Alzette a en même temps délimité deux promontoires de la cuesta bajocienne, les plateaux de Differdange et de Rumelange, par lesquels le plateau de Briey vient se terminer en territoire luxembourgeois. (fig. 5)

Le **plateau de Differdange** a été détaché du plateau de Briey par la Chiers - qui a dégagé, à la hauteur de Longwy, un impressionnant entonnoir de percée cataclinale - et par son affluent, la Crosnière, qui dédouble la cuesta. Les quatre buttes-témoins qui précèdent la pointe orientale du plateau se trouvent sur le passage de la ligne de partage des eaux entre les bassins versants de la Meuse et du Rhin. Le plateau de Differdange a partout une altitude supérieur à 400 m (point culminant: 428 m).

Le front de cuesta est marqué sur toute son étendue par un replat d'une centaine de mètres de largeur qui lui confère un profil discret en marches d'escalier (fig. 6). Ce replat correspond à l'affleurement des marnes micacées.

Au droit du horst délimité par les failles de Godbrange et d'Audun-le-Tiche, les couches de la minette et leur recouvrement ont, en grande partie, disparu. Elles ne subsistent que sur la bordure orientale du plateau de Differdange (fig. 5).

Le **plateau de Rumelange**, au contraire de celui de Differdange, reste attaché au plateau de Briey. Mais il a été fortement entaillé par les ruisseaux anaclinaux de Kayl et de Dudelange. Il est réduit le plus souvent à une bande large d'un kilomètre environ qui s'étire le long de la frontière française (fig. 5 et 7).

Dans le fossé tectonique formé par la faille d'Audun-le-Tiche et la faille médiane, le plateau bajocien connaît un développement plus marqué et atteint une largeur de deux kilomètres environ (fig. 5). Au même endroit, la formation de la minette ne domine que de peu le niveau de la plaine. Aux lieux-dits Ellergronn et Eisekaul, les couches ferrifères n'étaient pas toutes accessibles par des galeries percées horizontalement à flanc de coteau. On y avait installé d'abord des puits; plus tard, on accédait aux couches profondes par des travers-bancs.

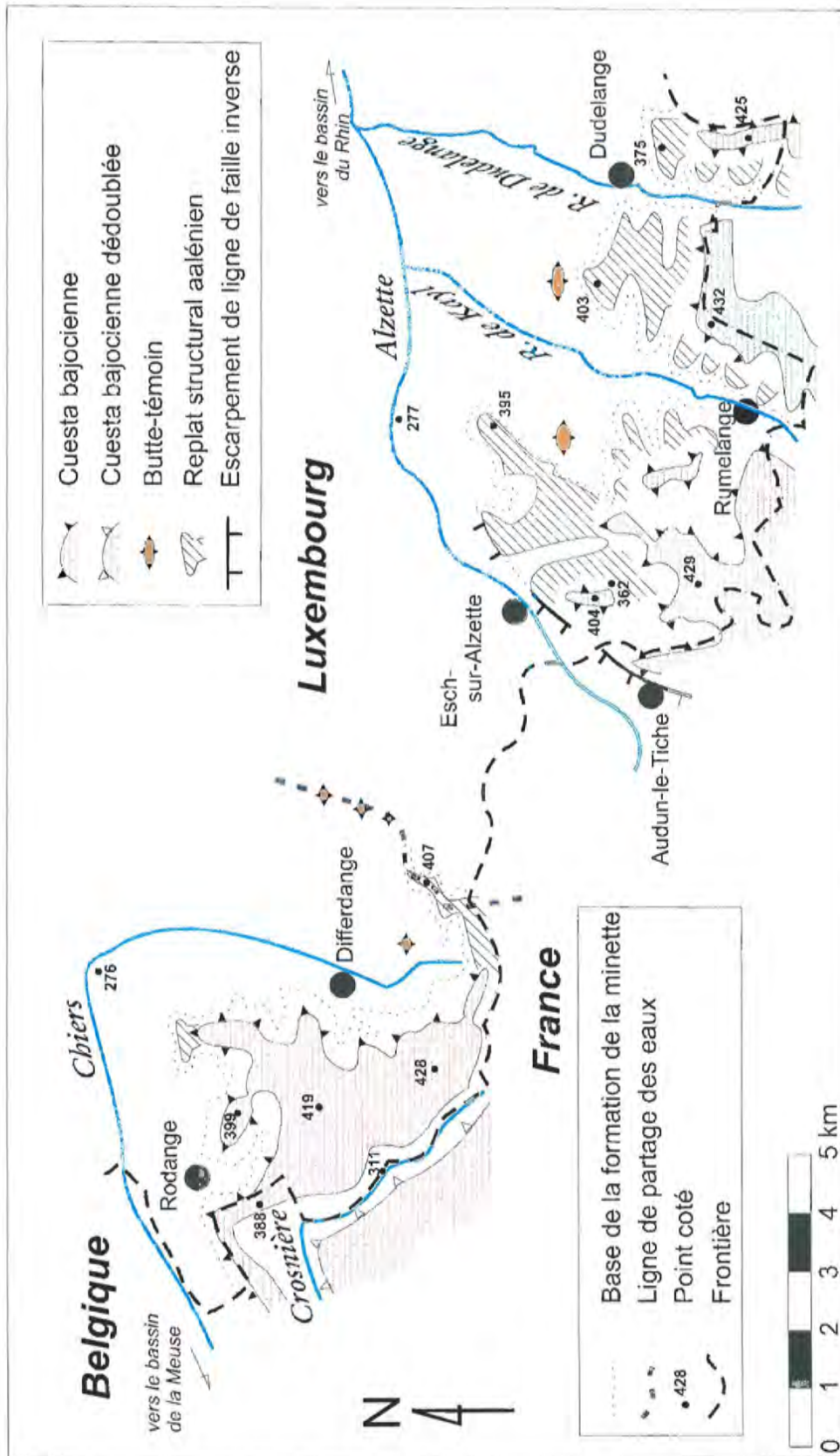


Figure 5: Croquis morphologique du bassin ferrifère luxembourgeois

Le replat des marnes micacées est prolongé au nord par une surface substructurale, le replat aalénien qui peut atteindre, par endroits, une largeur de plusieurs kilomètres. Le replat forme à cet endroit une esquisse de côte double. En conformité avec le pendage des couches, le replat aalénien accuse une légère pente vers le sud (fig. 8). Le toit de la formation de la minette affleure sur le replat (fig. 2).

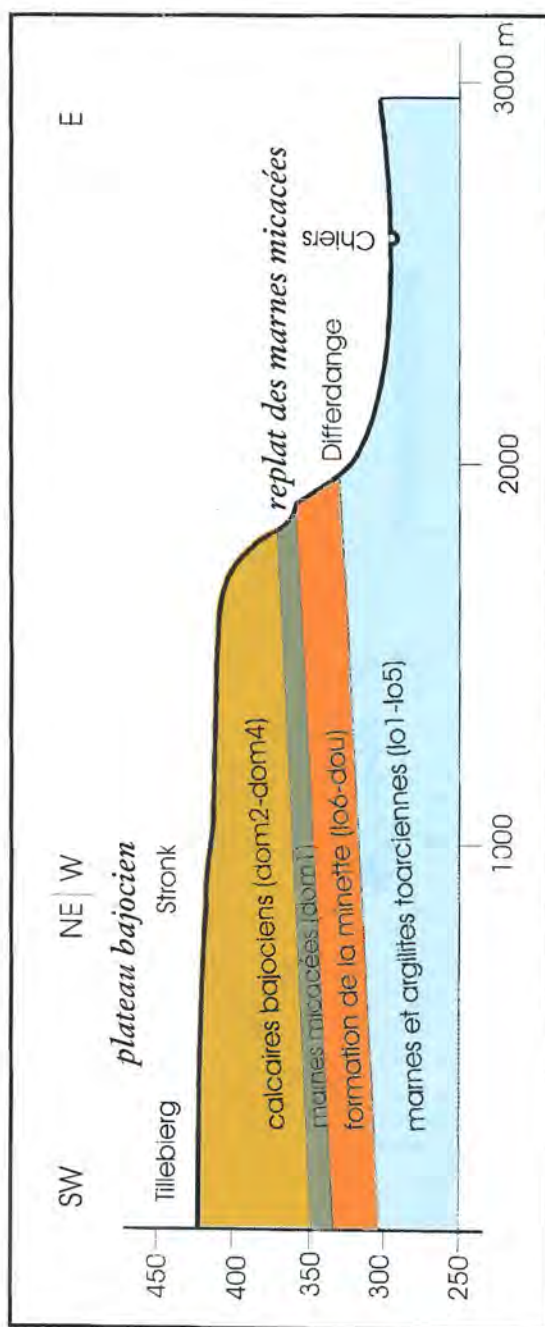


Figure 6: Coupe à travers le plateau de Differdange

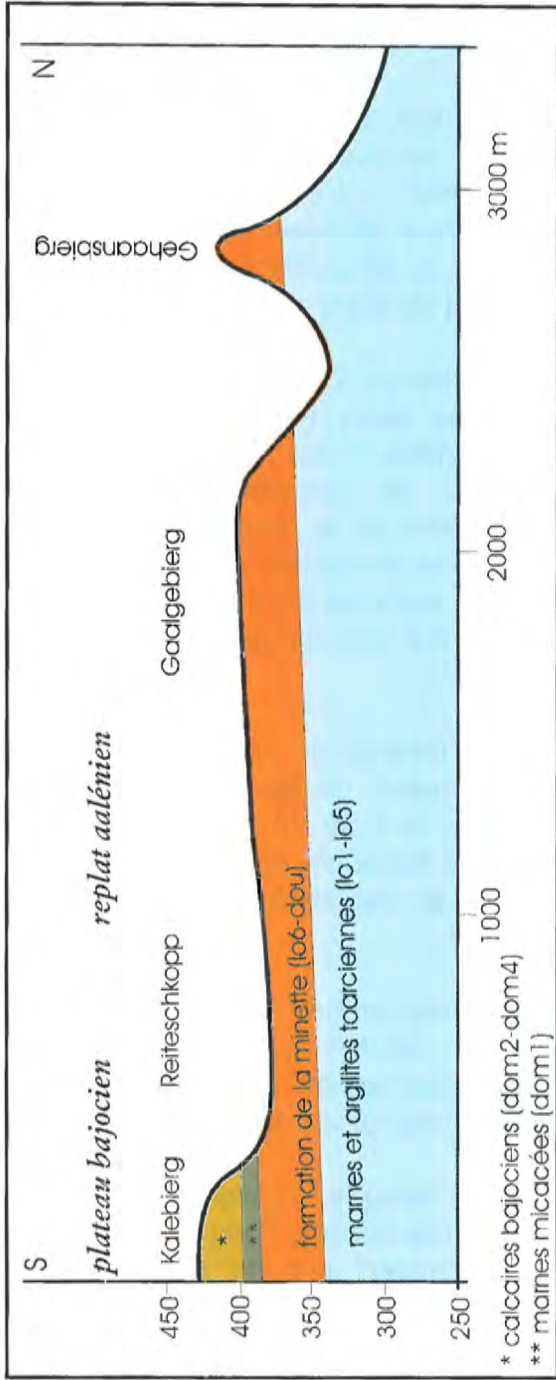


Figure 7: Coupe à travers le plateau de Rumelange

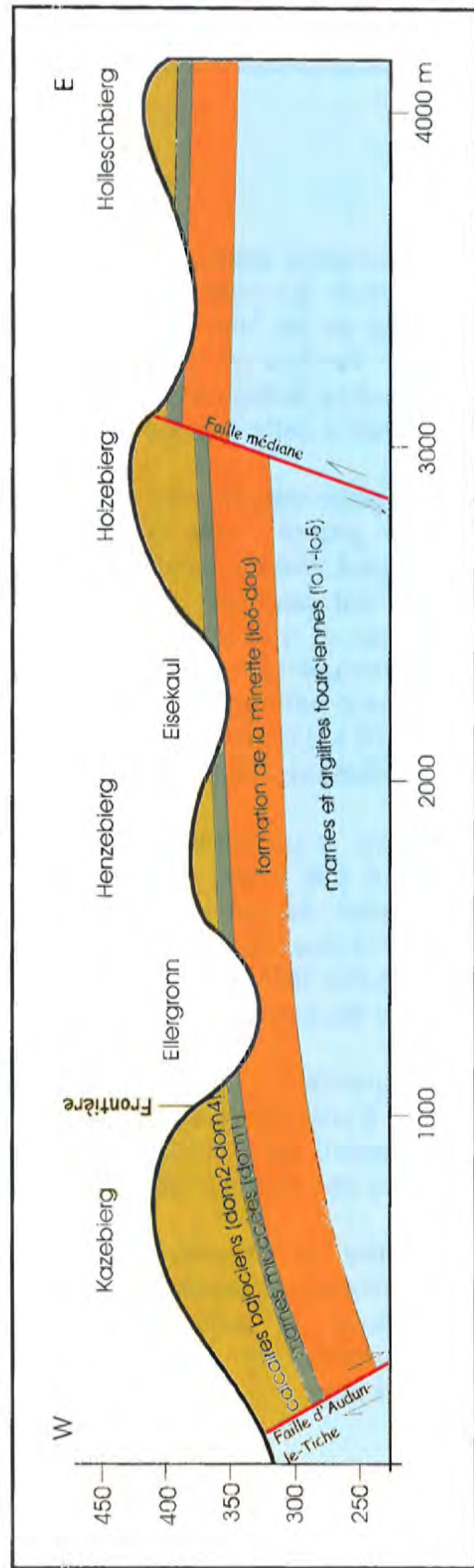


Figure 8: Coupe à travers le fossé tectonique Esch-Rumelange

1.2 L'exploitation minière

1.2.1 Aperçu historique

L'industrie sidérurgique luxembourgeoise avait reposé jusqu'au milieu du 19^e siècle sur l'exploitation de deux types de minerais de fer de surface: le minerai de fer "des prés" (minerai de "fer tendre") qui se trouvait au nord du bassin ferrifère et le minerai de fer pisolithique (minerai de "fer fort") qui occupait le plateau bajocien (fig. 2). Le minerai de fer oolithique, la minette, ne fut utilisé à cette époque qu'en tant qu'adjuvant (fondant calcaire).

A partir des années 1840, la minette commença à être reconnue pour sa valeur propre, mais l'utilisation parallèle des deux types de minerai se poursuivit encore pendant une trentaine d'années. C'est n'est qu'après que l'Etat eût accordé, dans les années 1870, les premières concessions minières et que le procédé de déphosphoration de la minette fût appliqué dans les usines luxembourgeoises (1886) que la production du minerai de fer oolithique prit son véritable essor. Elle passa alors de 0,9 millions de tonnes en 1870 à 2,6 millions de tonnes en 1885 et à 6,2 millions de tonnes en 1900. (Chambre de Commerce, 1915)

Dans le domaine du non concessible, le minerai de fer oolithique avait d'abord été extrait dans des mines à ciel ouvert de flanc de coteau qui profitaient de l'affleurement de la minette sur le front de cuesta et sur les versants des vallées. L'abattage du minerai se faisait de haut en bas à l'aide de gradins reliés entre eux par des rampes. Les déblais furent rejetés sur le bas du talus ou entassés sur le fond de la mine.

Cependant, l'épaisseur des terrains de recouvrement - qui augmentait au fur et à mesure que les travaux avançaient -, rendait ce type d'exploitation rapidement peu rentable. L'exploitation se poursuivait alors, à partir des gradins des mines à ciel ouvert, par galeries souterraines (fig. 11).

Après la Deuxième Guerre Mondiale, lorsque l'utilisation d'engins mécaniques puissants permit d'enlever les morts-terrains dans de meilleures conditions de rentabilité, l'extraction à découvert prit de nouveau plus d'importance et mordit également, par endroits, sur le domaine du concessible.

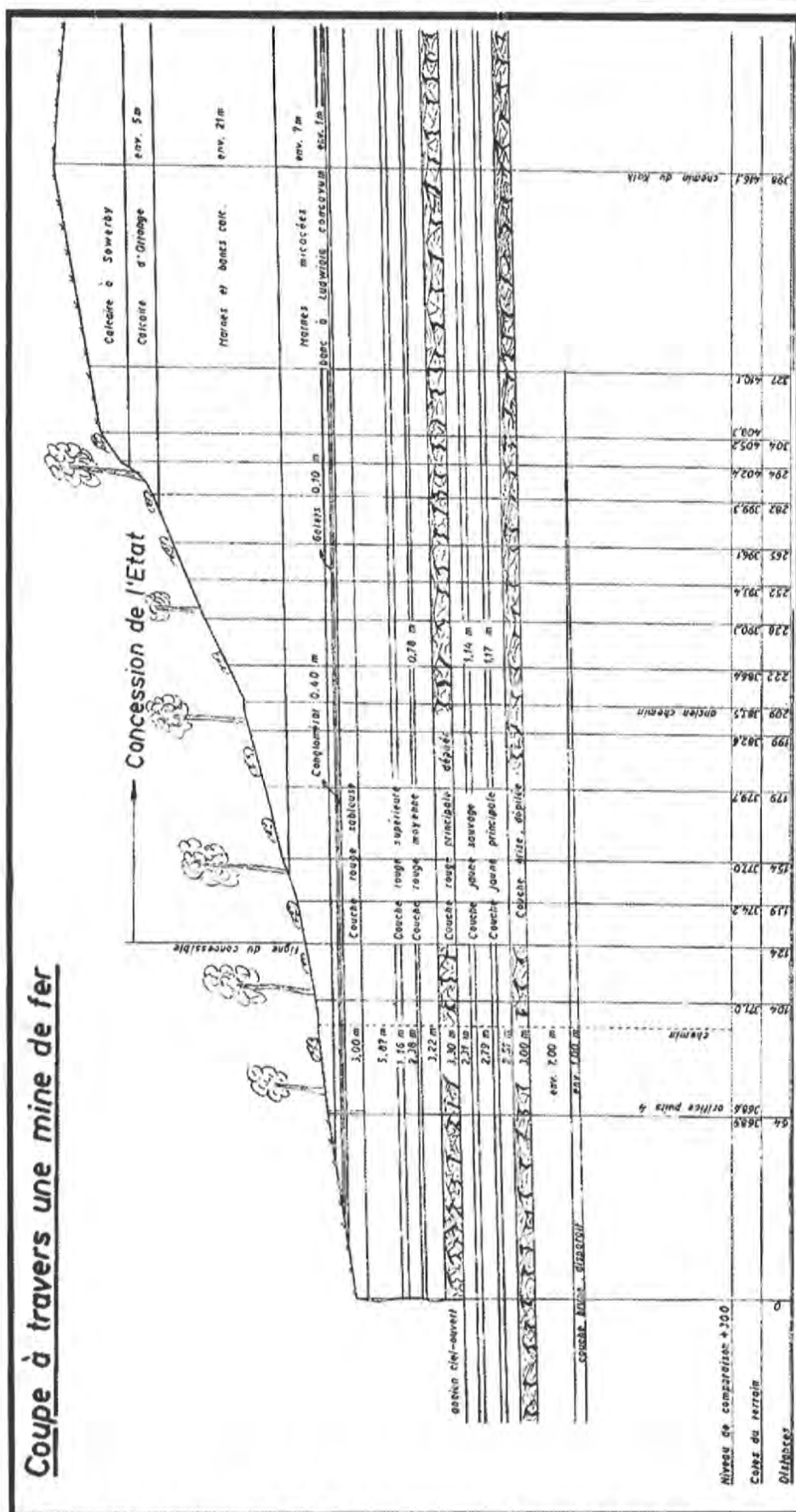


Figure 9: Mine à ciel ouvert, galeries et limite du concessible dans une exploitation du bassin d'Esch-sur-Alzette (F. Bosseler, 1956, p. 16-17)

1.2.2 Les concessions minières

En 1870, le gisement ferrifère fut divisé, par voie législative, en deux domaines:

- le **domaine concessible** dans lequel le tréfonds devenait la propriété de l'Etat qui le concédait à des sociétés moyennant redevance;
- le **domaine non concessible** où le tréfonds restait aux mains des propriétaires de la surface.

Le partage entre les deux domaines se fit sur la base de l'épaisseur des couches de recouvrement, à savoir:

"les gisements de mine de fer oolithique situés dans le canton d'Esch sont considérés comme concessibles

1° dans le bassin à droite de l'Alzette, lorsque le recouvrement de la couche siliceuse [couche rouge sableuse] dépasse une hauteur de six mètres;

2° dans le bassin à gauche de l'Alzette, lorsque le terrain de recouvrement de la couche supérieure susceptible d'être exploitée par galerie [couche rouge] dépasse une hauteur de vingt-quatre mètres".
(V. Dondelinger, 1912)

(en ha)	Concessible	Non concessible	Total
Bassin de Differdange	1074 (72 %)	414 (28 %)	1488
Bassin d'Esch-sur-Alzette	1040 (48 %)	1142 (52 %)	2182
Total	2114	1556	3670 (100 %)

Tableau 1: La part de terrains miniers concessibles et non concessibles
(Source: Inspection du Travail et des Mines)

La plupart des concessions furent attribuées, au cours des années qui suivirent la promulgation de la loi, à des concessionnaires qui les exploitaient pour leur propre compte (notamment les usines sidérurgiques) ou qui les confiaient à des sociétés minières (surtout les sociétés de chemins de fer qui avaient reçu une partie des concessions en dédommagement de leurs frais). La dernière concession fut attribuée en 1913 (Tillebiérg-Extension à Differdange). La concession de Gënzebiérg, située à l'est de Dudelange, n'a pas été attribuée par l'Etat.

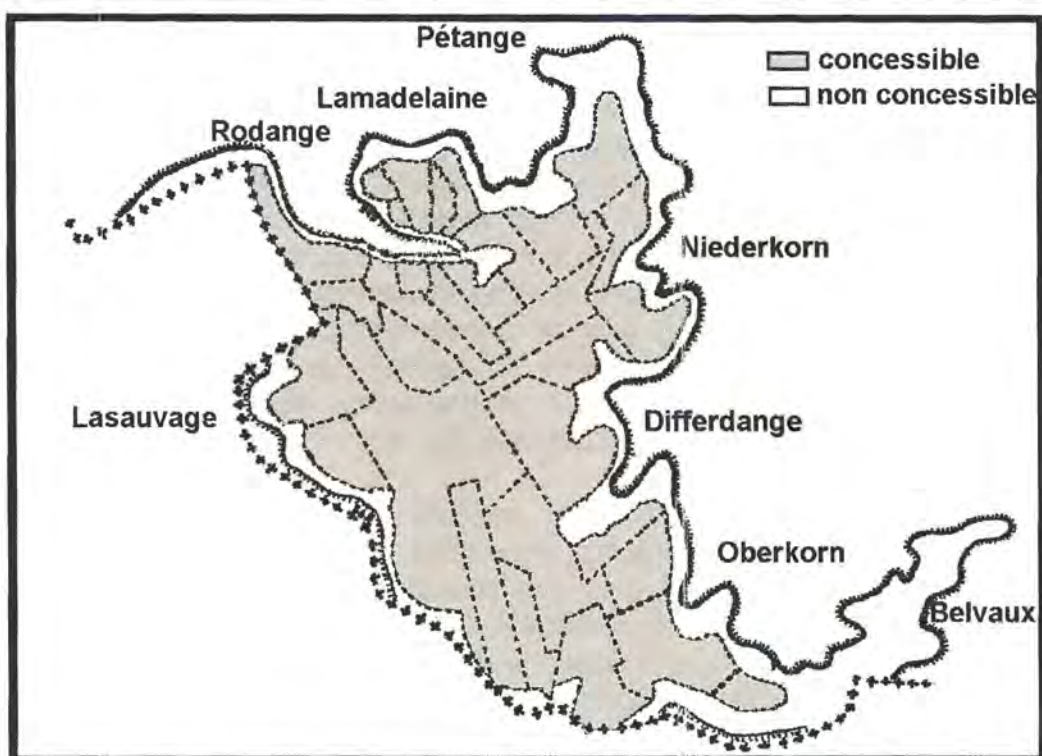


Figure 10: Les concessions minières dans le bassin de Differdange (d'après M. Lucius 1945 et M. Klein, 1985)

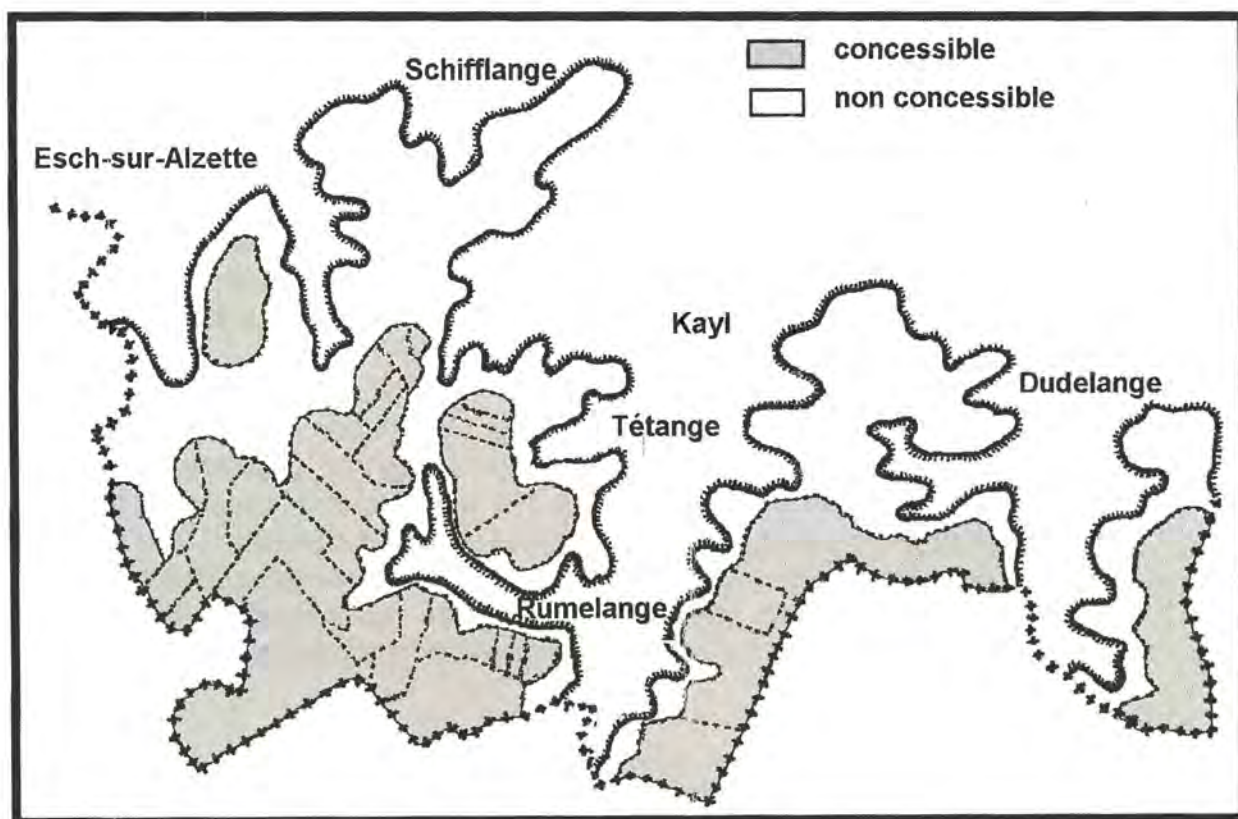


Figure 11: Les concessions minières dans le bassin d'Esch-sur-Alzette (d'après M. Lucius 1945 et M. Klein, 1985)

Les gisements de minette du **non concessible** pouvaient être exploités librement par les propriétaires des terrains. A l'exception des premières années, ceux-ci vendirent cependant leurs propriétés ou cédèrent leurs droits contre paiement aux nouvelles sociétés minières. L'exploitation pouvait se faire soit à ciel ouvert, soit par mines souterraines. Le choix du mode d'exploitation dépendait avant tout de la morphologie du terrain. En effet, si le minerai qui affleurait à flanc de coteau était facilement accessible en début d'exploitation, l'épaisseur des terrains de recouvrement augmentait au fur et à mesure que les travaux avançaient et rendait ce type d'exploitation rapidement peu rentable. L'exploitation se poursuivait alors, au départ des mines à ciel ouvert, par galeries souterraines (fig. 10).

Le domaine du **concessible** fut exploité par mines souterraines. Cependant, au cours des dernières décennies de l'exploitation - lorsque l'utilisation d'engins mécaniques puissants permit d'enlever les morts-terrains dans de meilleures conditions de rentabilité -, quelques grandes mines à ciel ouvert finirent par empiéter sur le domaine du concessible (mine Pränzebierg près de Niederkorn et mine Holleschbierg près de Rumelange).

1.2.3 L'extraction souterraine

Sous terre, le minerai de fer fut exploité, comme partout en Lorraine, par la méthode dite des chambres et piliers¹. A partir de galeries principales destinées à la circulation des hommes et des matériaux, on traçait des galeries secondaires délimitant entre elles des panneaux (ou bandes) de minerai (fig. 12). Les panneaux furent ensuite subdivisés en chambres (chantiers) et piliers de quelque 80 m de longueur. Les chantiers de 3 à 5 m de largeur étaient séparés par des piliers larges de 10 à 15 m. Les galeries étaient à section rectangulaire et se raccordaient obliquement les unes aux autres pour faciliter le roulage. Une fois les chantiers vidés, les piliers étaient recoupés et exploités à leur tour. Puis les piliers résiduels étaient torpillés à l'explosif, ce qui provoquait l'effondrement du toit.

En reportant à chaque fois les pressions des roches de couverture sur le bloc ferme du front d'avancement, la technique du dépilage devait, en théorie, offrir un maximum de sécurité aux mineurs tout en garantissant un taux d'extraction maximal du minerai (taux de défruitement). Dans la mine lorraine de Montrouge, exploitée par la société luxembourgeoise ARBED suivant la technique du dépilage, le taux de défruitement pouvait ainsi atteindre 95 % (J.-B. Ferrai, 1997). Au Luxembourg cependant, les conditions

¹ A.E.L. IM II dossier 37, Extrait d'une note sur les effondrements du 2 février 1904:

“ la méthode dite “abatage par galeries et piliers” ... comprend deux phases: la première dite “traçage” consiste à diviser le massif à attaquer de manière à y pénétrer par une série de galeries qui laissent entre elles une partie pleine suffisante pour soutenir le toit, et la deuxième dite “dépilage” consiste à enlever les piliers eux-mêmes en soutenant la voûte jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de danger de laisser des effondrements se produire derrière soi. Ainsi nos lois et règlements prévoient-ils une double autorisation: 1^o la permission pour exploitation souterraine et 2^o la permission pour dépilage.”

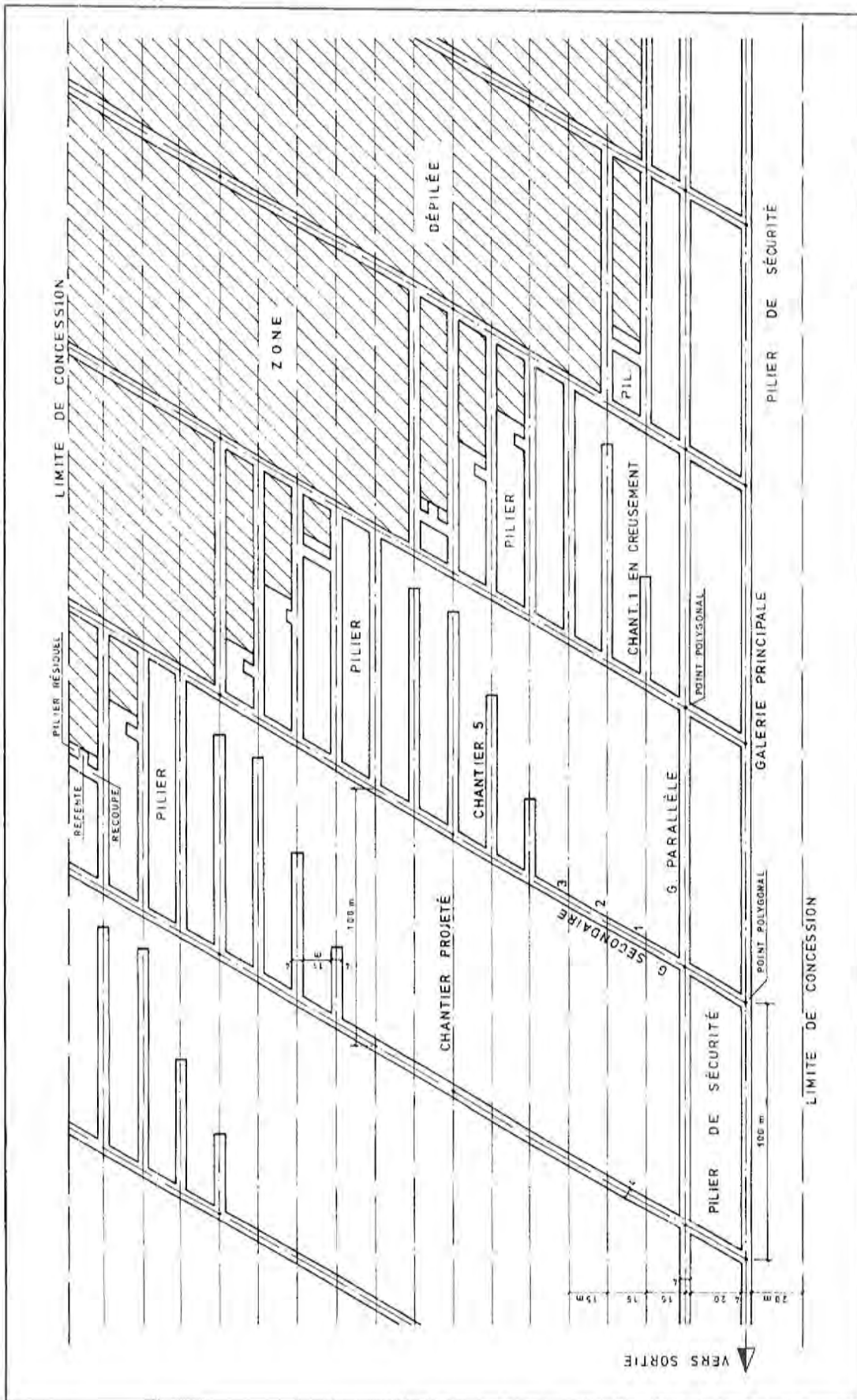


Figure 12: Le traçage des galeries (Ch. Storoni, 1999)

d'exploitation nécessaires pour obtenir un tel résultat n'étaient remplies, dans la très grande majorité des cas, ni dans le temps ni dans l'espace.

Dans les vieilles mines du 19^e siècle, l'abattage se faisait à la main et obligeait les mineurs, pour pouvoir travailler dans des conditions de rentabilité acceptable, de tenir compte, pour le traçage des galeries, des conditions locales de dureté des roches et de la teneur en fer variable du minerai. Un plan d'exploitation systématique et préétabli n'existait que rarement et, pour les raisons évoquées plus haut, ne pouvait guère être respecté. En plus, pour soutenir le toit, les mineurs laissaient en place des piliers et entassaient les blocs stériles de calcaire le long des parements. Les nombreux arrêts d'exploitation, suivis de reprises sporadiques au gré des fluctuations du prix du minerai, ne favorisaient pas non plus une exploitation et un dépilage systématiques.

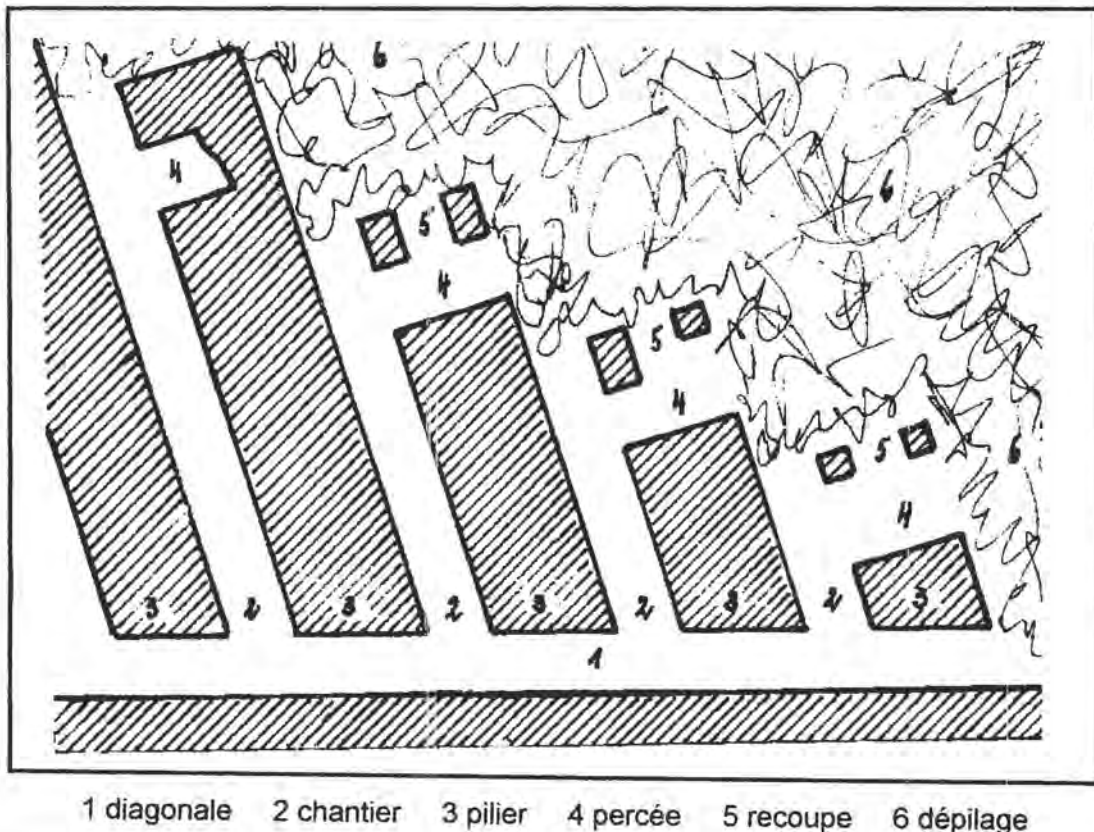


Figure 13: La technique du dépilage (d'après M. Klein, 1985)

Au 20^e siècle aussi, le traçage des galeries dans le non concessible est resté souvent irrégulier² (fig. 15). Parfois, on ne creusait que de courtes galeries à partir du front de taille jusqu'à la limite du concessible. Dans

² Il n'existe guère de littérature fiable sur les techniques d'exploitation des anciennes mines du non concessible au Luxembourg. Les données présentées ici reposent sur de vieux plans d'exploitation.

d'autres cas, on complétait la trame des galeries creusées perpendiculairement à la limite du concessible par une ou plusieurs galeries parallèles à cette limite. Dans tous les cas, la faible largeur des panneaux et l'irrégularité du tracé empêchaient le défilage de se faire sur de grandes surfaces et réduisaient de beaucoup le taux de défrèvement³.

Dans les mines du concessible, les exigences techniques étaient mieux respectées. Mais là encore les plans d'exploitation révèlent souvent des écarts par rapport aux normes en vigueur. Dans une mine du plateau de Differdange, par exemple, la couche rouge avait été exploitée avant la couche calcareuse superposée, et l'effondrement du toit de la première avait rendu impossible l'exploitation de la seconde à cet endroit (fig. 14).

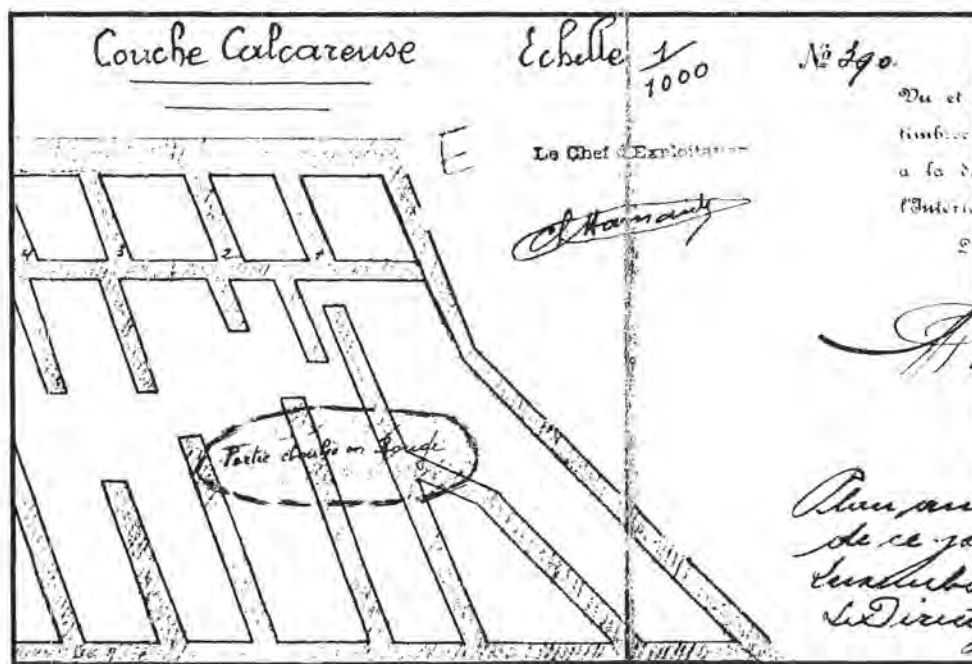


Figure 14: Plan d'exploitation de la couche calcareuse de la mine Grand Bois de la Chiers dans le bassin de Differdange

Le mur de la couche calcareuse s'est effondré à la suite d'un éboulement qui s'est produit dans la couche rouge sous-jacente⁴ ("partie éboulée en Rouge")

Mais, même à défaut de telles irrégularités, le taux élevé de défrèvement des mines lorraines n'a pas pu être atteint dans les mines luxembourgeoises pour plusieurs raisons:

- a) De très nombreux piliers de protection furent laissés en place dans les mines: piliers latéraux protégeant les galeries de roulage, piliers de

³ Là où les terrains non concessibles avaient été cédés à des sociétés concessionnaires et intégrés dans leur plan général d'exploitation, la géométrie des mines montrait évidemment davantage de régularité.

⁴ Mine Grand Bois de la Société de la Chiers. A.E.L. dossier IM II 19, folio 73: "la couche rouge est à considérer comme exploitée, des éboulements se sont produits et l'on ne pourra plus y procéder au défilage de la couche calcareuse."

limites de concession, stots de protection soutenant les routes (fig. 16) et les fermes et toutes sortes d'autres piliers maintenus pour les besoins locaux de l'exploitation: puits d'aérage et puits d'exhaure, par exemple⁵. Ces massifs de minerai abandonnés diminuaient sensiblement le taux de défrèvement et la largeur des bandes dépilées, surtout dans les petites concessions.

b) L'abandon volontaire des piliers résiduels (technique des piliers perdus) restait fort répandue au Luxembourg pour des raisons de sécurité et, souvent aussi, de rentabilité. Dans les années 1960, par exemple, on a encore appliqué cette technique dans la concession Vesquenhaff située près de la ferme de même nom⁶.

c) Les concessions luxembourgeoises étaient de petite taille. Leur superficie était comprise entre 2 et 245 ha. Deux mines seulement avaient une superficie supérieure à 80 ha, alors que dans le bassin de Briey, la taille moyenne des concessions était de 341 ha (G. Dalstein, 1994). En plus, les concessions avaient souvent des formes étirées et s'imbriquaient les unes dans les autres. (fig. 8 et 9).



Figure 15: Traçage irrégulier des chantiers dans la mine Grand Bois de la Chiers du bassin de Differdange⁵

⁵ A.E.L., dossier IM II 19, farde 73

⁶ Communication de M. R. Conter, mineur en chef ayant travaillé dans cette mine

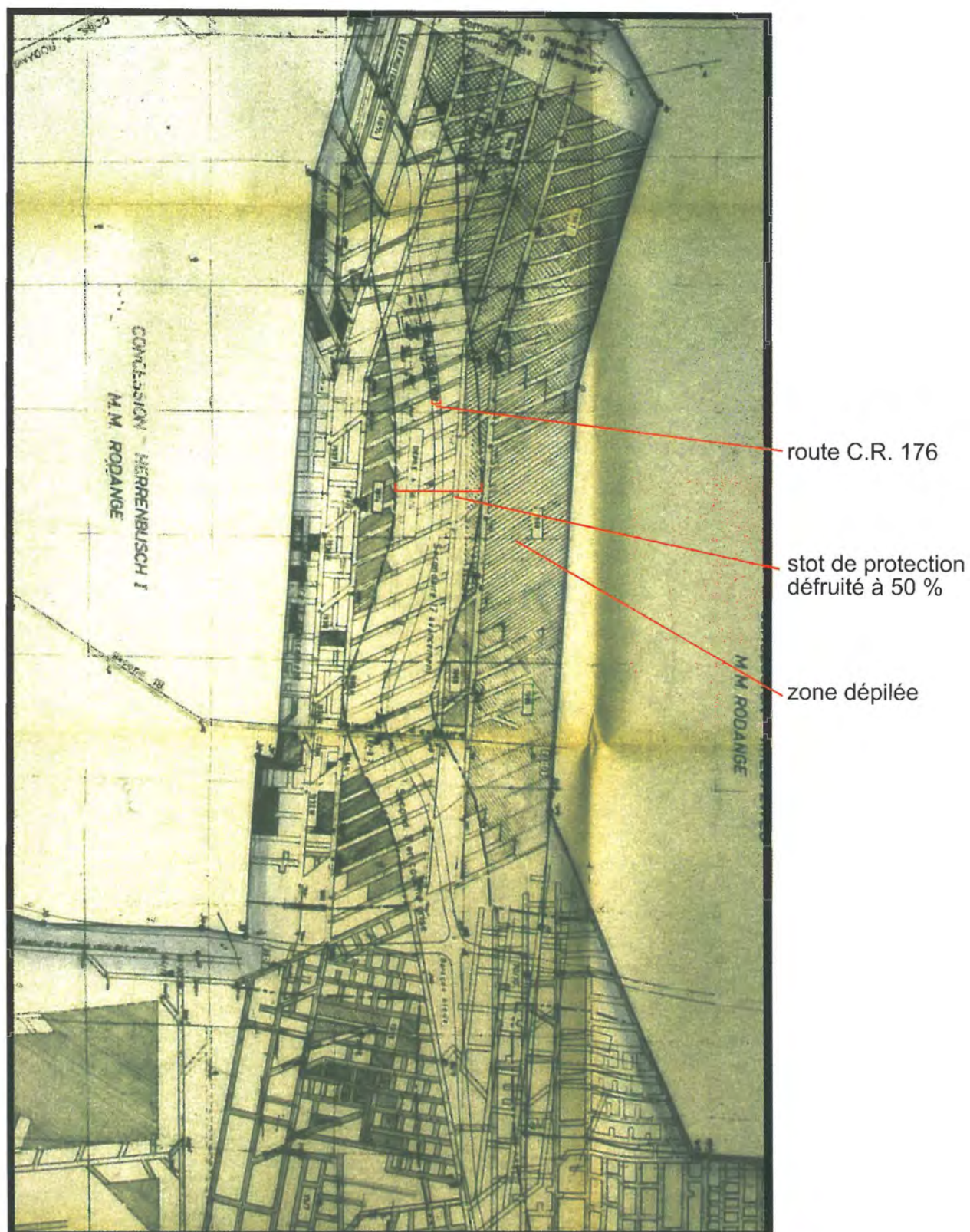


Figure 16: Stot de protection, dans la couche grise, sous la route C.R. 176 du plateau de Differdange (Source: Inspection du Travail et des Mines)

Chapitre 2

Classement et répartition

des affaissements

2.1 Classement et représentation cartographique

2.1.1 Classification des affaissements

Le critère de classification des subsidences⁷ minières le plus utilisé est celui du mouvement qui en est responsable, à savoir l'affaissement ou l'effondrement. D'après J.-C. Flageollet (1989, p. 32), l' *"affaissement se traduit par une dépression topographique sans rupture apparente, parfois en cuvette; peu profond, il est lent, progressif, plus ou moins continu. L'effondrement est brutal, discontinu, et provoque l'apparition d'une dépression plus ou moins circulaire dont les bords sont verticaux ou escarpés et montrent la rupture du terrain."*

On rencontre cette classification couramment dans les études d'ingénierie minière et de prévention des risques d'affaissement, où les deux types de mouvements sont directement associés aux modes d'exploitation qui conduisent tantôt à des effondrements (exploitation partielle par la méthode des chambres et piliers, par exemple), tantôt à des affaissements (exploitation totale par la méthode des tailles, par exemple). Les noms attribués aux formes de relief observées sont, en règle générale, accompagnés d'un qualificatif qui en détermine le processus de formation: entonnoir d'effondrement (Einsturztrichter, collapse funnel) ou cuvette d'affaissement (Senkungsmulde, subsidence trough), par exemple. (H. Kratzsch, 1974; C. Down et J. Stocks, 1977; J. Arcamone, 1980; Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 1999)

Du point de vue morphologique, cette classification est parfois très contraignante. Les crevasses, par exemple, sont difficiles à classer suivant ce critère, parce qu'elles peuvent, selon les situations, tenir de l'un ou de l'autre des processus⁸. J.-C. Flageollet (1989) fait d'ailleurs remarquer qu'un effondrement peut se transformer en affaissement et vice-versa.

Plus important, pour notre étude, est le fait que la classification basée sur les processus exige qu'on puisse observer directement les mouvements en action ou du moins leurs effets peu de temps après que la subsidence s'est

⁷ Le terme de subsidence, courant en anglais pour décrire les mouvements de terrain verticaux, est peu utilisé en France où il est plutôt réservé pour désigner la subsidence géologique des bassins (J.-C. Flageollet, 1989). Mais un certain nombre d'auteurs l'utilisent en y ajoutant, le cas échéant, le qualificatif "minière" pour éviter l'ambiguïté inhérente au terme "affaissement" qui exprime trois réalités: le phénomène général de déplacement vertical du sol, un des types de mouvement vertical, en l'occurrence un mouvement lent, et un type de forme de relief, à savoir le creux caractérisé par un profil évasé.

⁸ Certaines classifications tiennent compte de ce problème et remplacent les concepts ambigus d'affaissements et d'effondrements par déformations continues et discontinues. (C. Down et J. Stocks 1977; P. Sirieys, 1984). Les crevasses peuvent ainsi être mieux intégrées au schéma général.

produite. Or, dans le bassin ferrifère luxembourgeois, l'apparition des affaissements s'est étalée sur un siècle et demi environ, laissant ainsi le temps à l'érosion naturelle et anthropique d'altérer l'aspect originel des formes.

Afin de ne pas présumer de la genèse des creux de subsidence, nous les classerons, dans cette première partie, uniquement sur la base des formes qui peuvent être observées à l'heure actuelle, c'est-à-dire parfois avec plus d'un siècle de retard sur le moment de la formation.⁹ Les dimensions des creux de subsidence (diamètre, profondeur) n'ont pas été retenues comme critère distinctif parce qu'on trouve - pour les mêmes types de formes et aux mêmes endroits - des séries de valeurs très contrastées sans véritable solution de continuité.

Classification des formes d'affaissement:

1) dépressions avec rupture apparente de terrain

- **entonnoir**: dépression fermée circulaire ou elliptique, aux parois raides
- **entonnoir-mare**: entonnoir rempli d'eau en permanence ou par intermittence
- **puits**: dépression fermée circulaire ou elliptique, aux parois subverticales
- **fossé**: dépression allongée, à fond plus ou moins plat, aux parois raides

2) dépressions sans rupture apparente de terrain

- **cuvette**: dépression circulaire, aux versants en pente adoucie
- **auge**: dépression allongée, en forme de berceau, aux versants en pente adoucie

3) fentes

- **fissure**: fente ouverte, sans rejet ni mouvements de masse sur les parois
- **crevasse**: fente béante, à profil transversal en V, avec ou sans rejet d'une des lèvres

⁹ Le choix des taxons et de leur figuré repose, pour l'essentiel, sur les travaux de J. Demek (éd.), 1976 et de F. Joly, 1997.

2.1.2 Cartographie des formes d'affaissement









	entonnoir
	entonnoir-mare
	puits
	fossé
	cuvette
	auge
	fissure
	crevasse

Figure 17: La représentation cartographique des formes d'affaissement

Les figurés définis ci-dessus (fig. 17) seront utilisés pour représenter des creux isolés ou peu nombreux ou très espacés. Pour représenter des champs de creux d'affaissements de même type dont la densité, à un endroit donné, est sensiblement plus grande que celle des creux de même nature dans les régions voisines, le signe conventionnel correspondant sera utilisé trois fois. Lorsque des creux de types différents sont intimement liés, les signes correspondants seront utilisés conjointement (exemples, fig. 18).




	champ d'entonnoirs
	champ d'entonnoirs alignés
	champ d'entonnoirs et d'entonnoirs-mares

Figure 18: La représentation cartographique de champs de creux d'affaissement

Les extraits de carte des pages 39 à 49, à l'échelle 1:10 000, représentent les parties du bassin ferrifère sur lesquelles, on peut actuellement observer des formes d'affaissement de terrain d'origine minière. La figure 19 montre la localisation des 11 extraits de cartes.

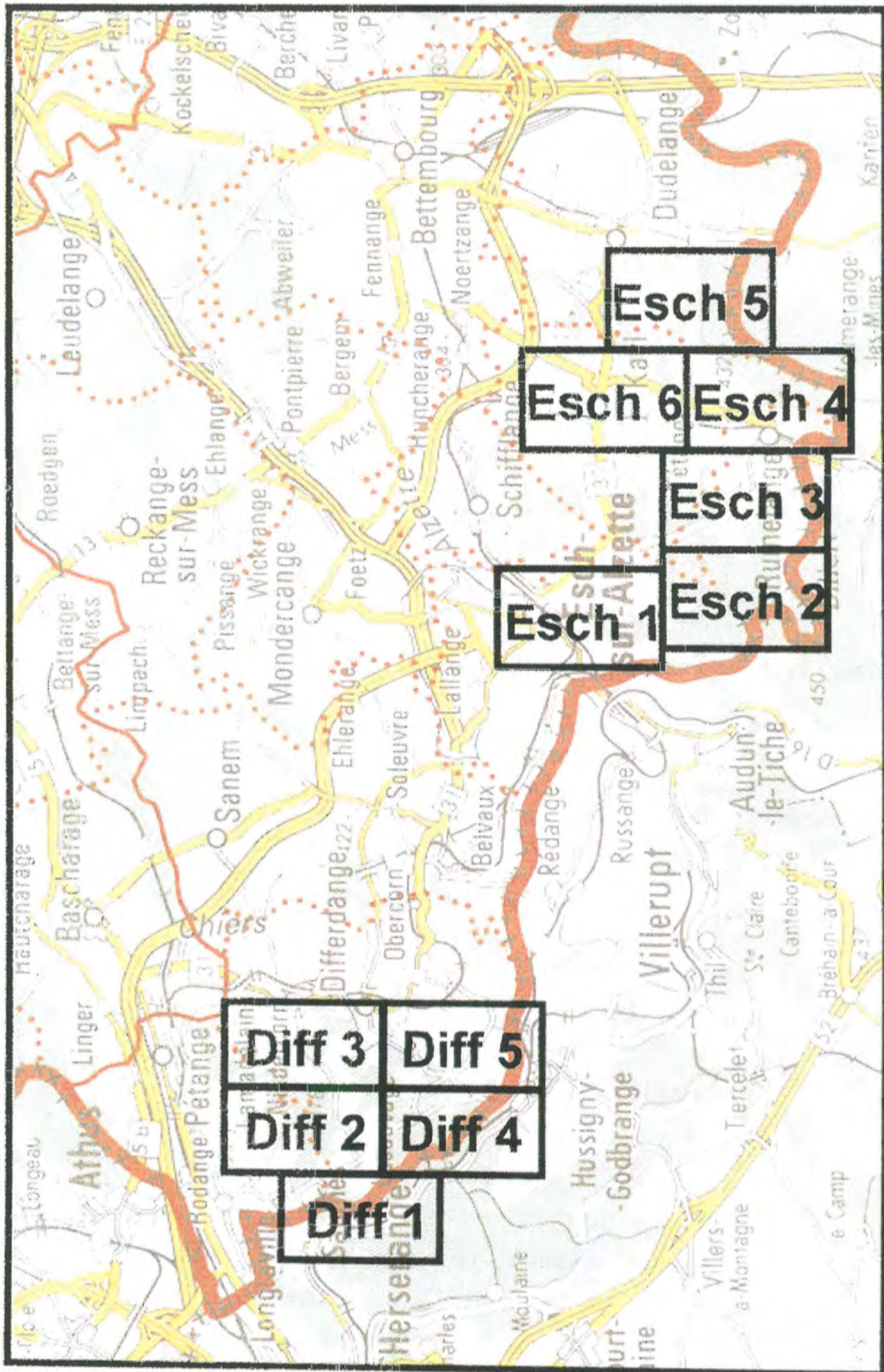


Figure 19: Tableau d'assemblage des extraits de cartes au 1:10 000

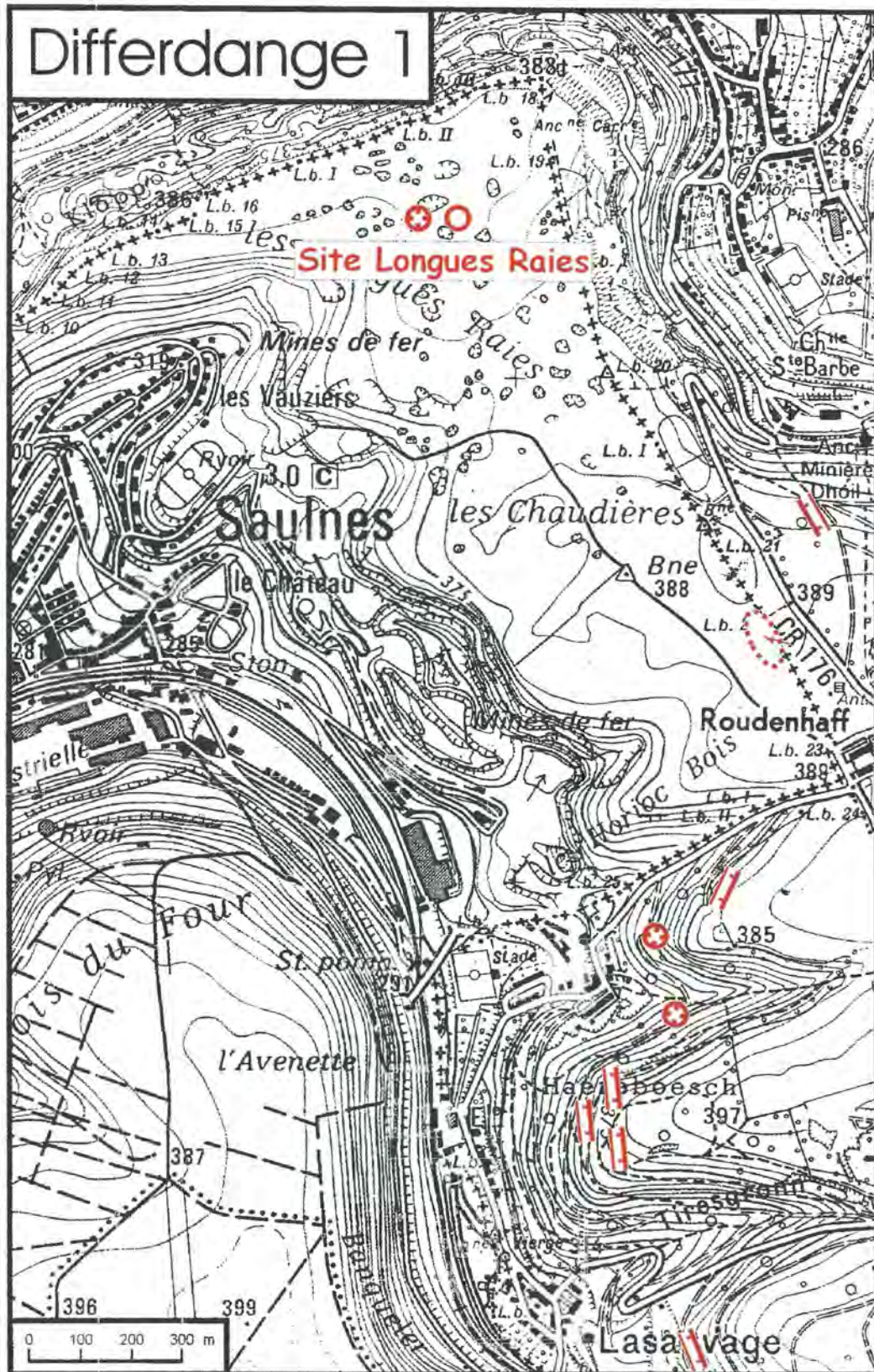


Figure 20: La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 1 (échelle 1:12 500)

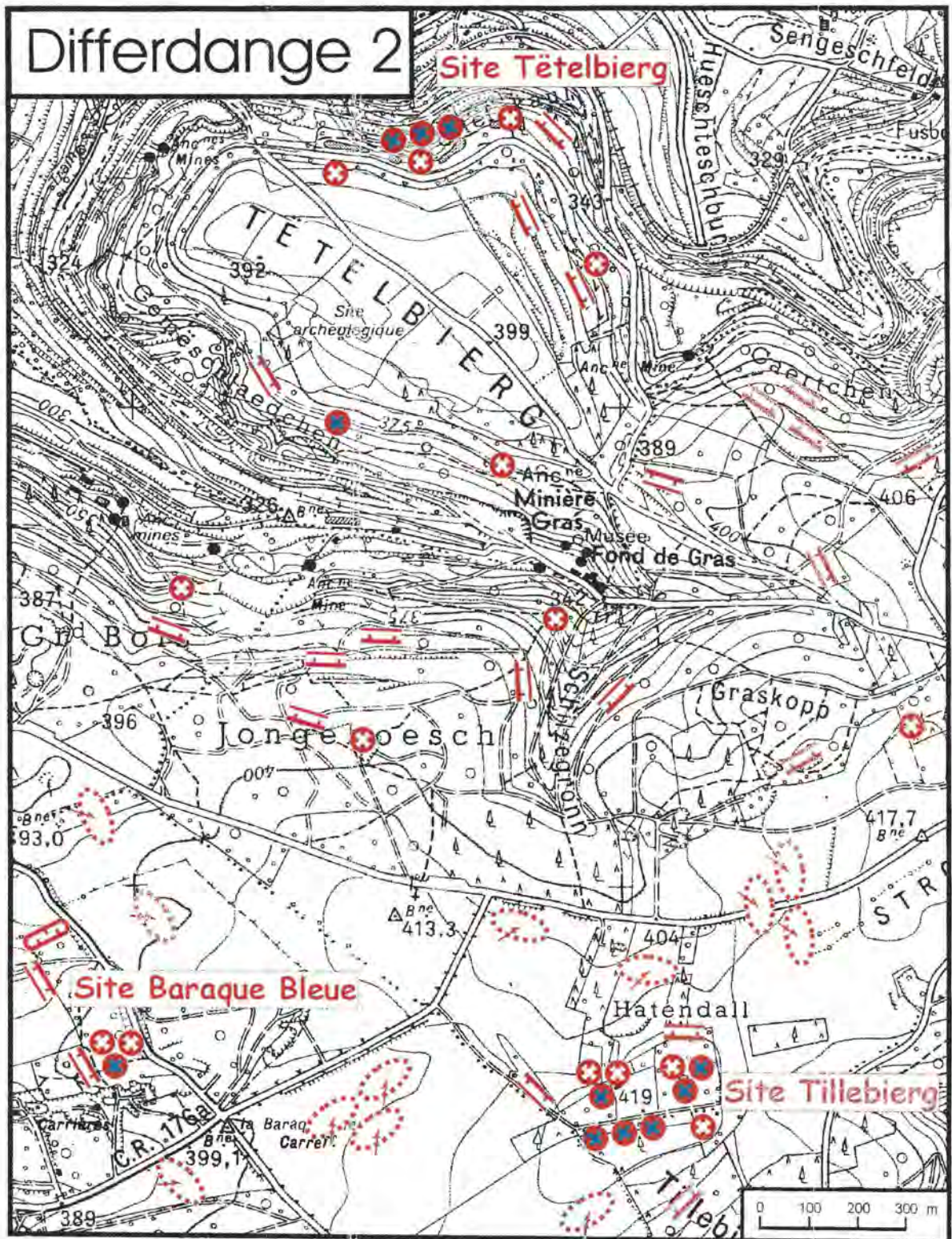


Figure 21: La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 2 (échelle 1:12 500)

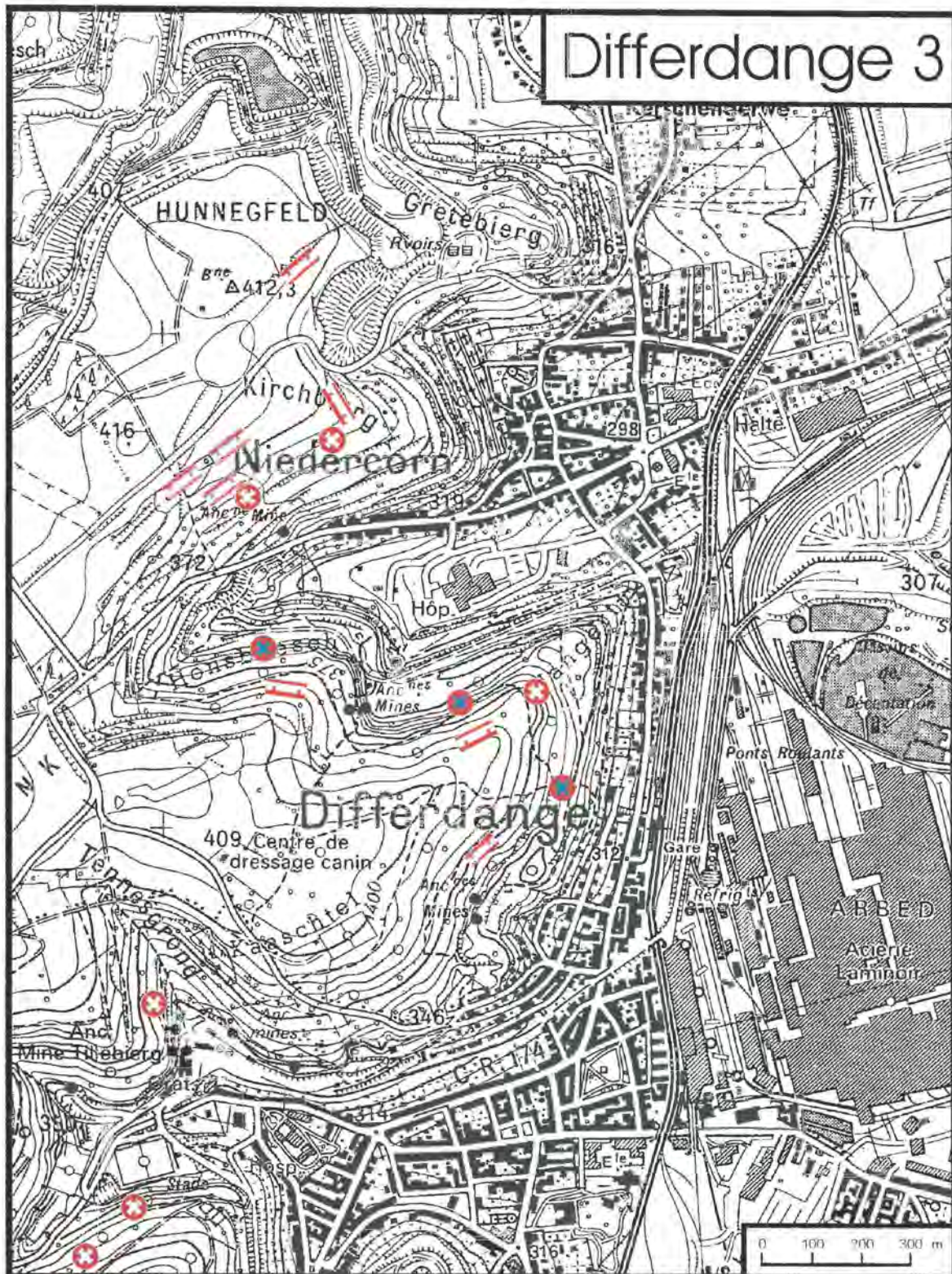


Figure 22: La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 3 (échelle 1:12 500)

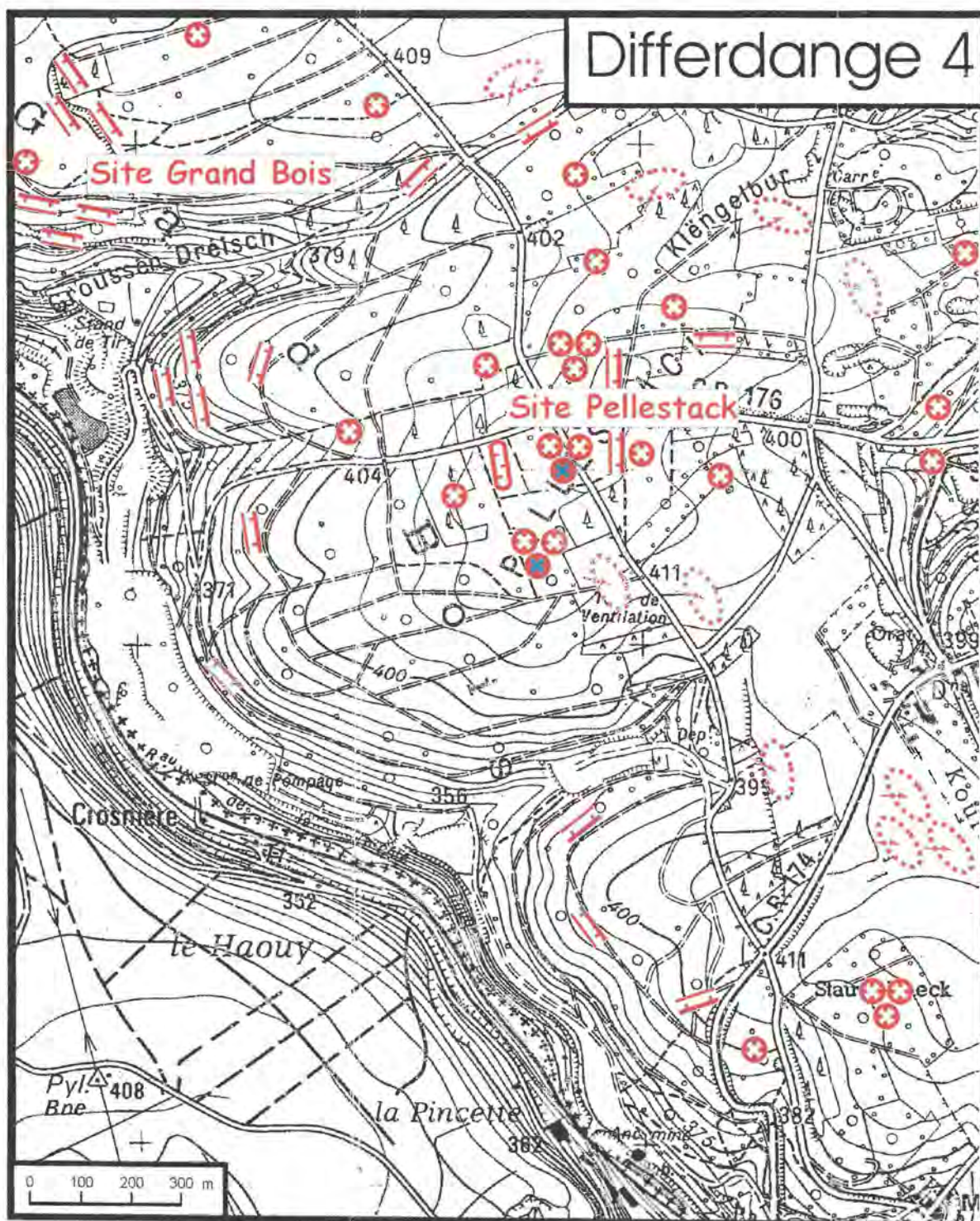


Figure 23: La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 4 (échelle 1:12 500)

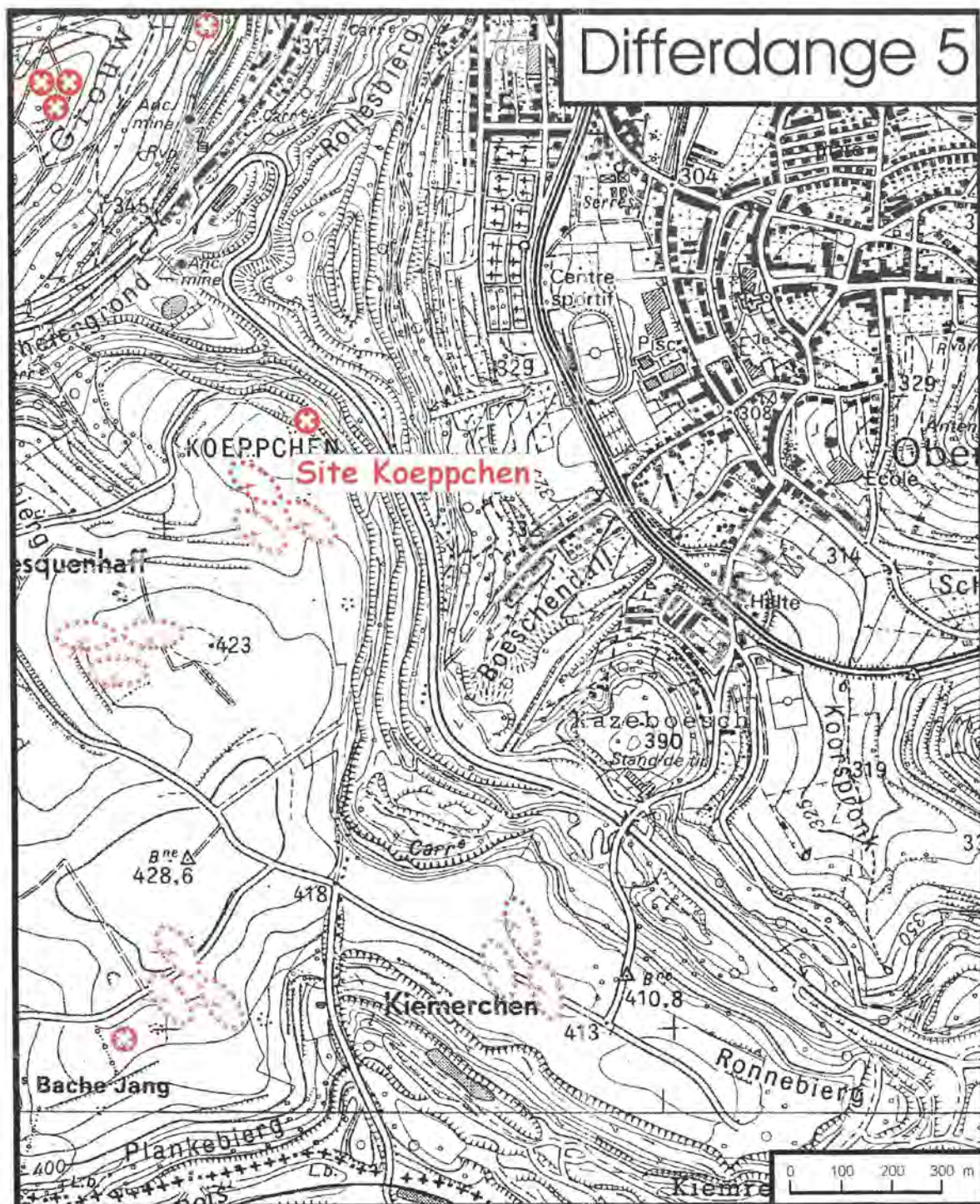


Figure 24: La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 5 (échelle 1:12 500)

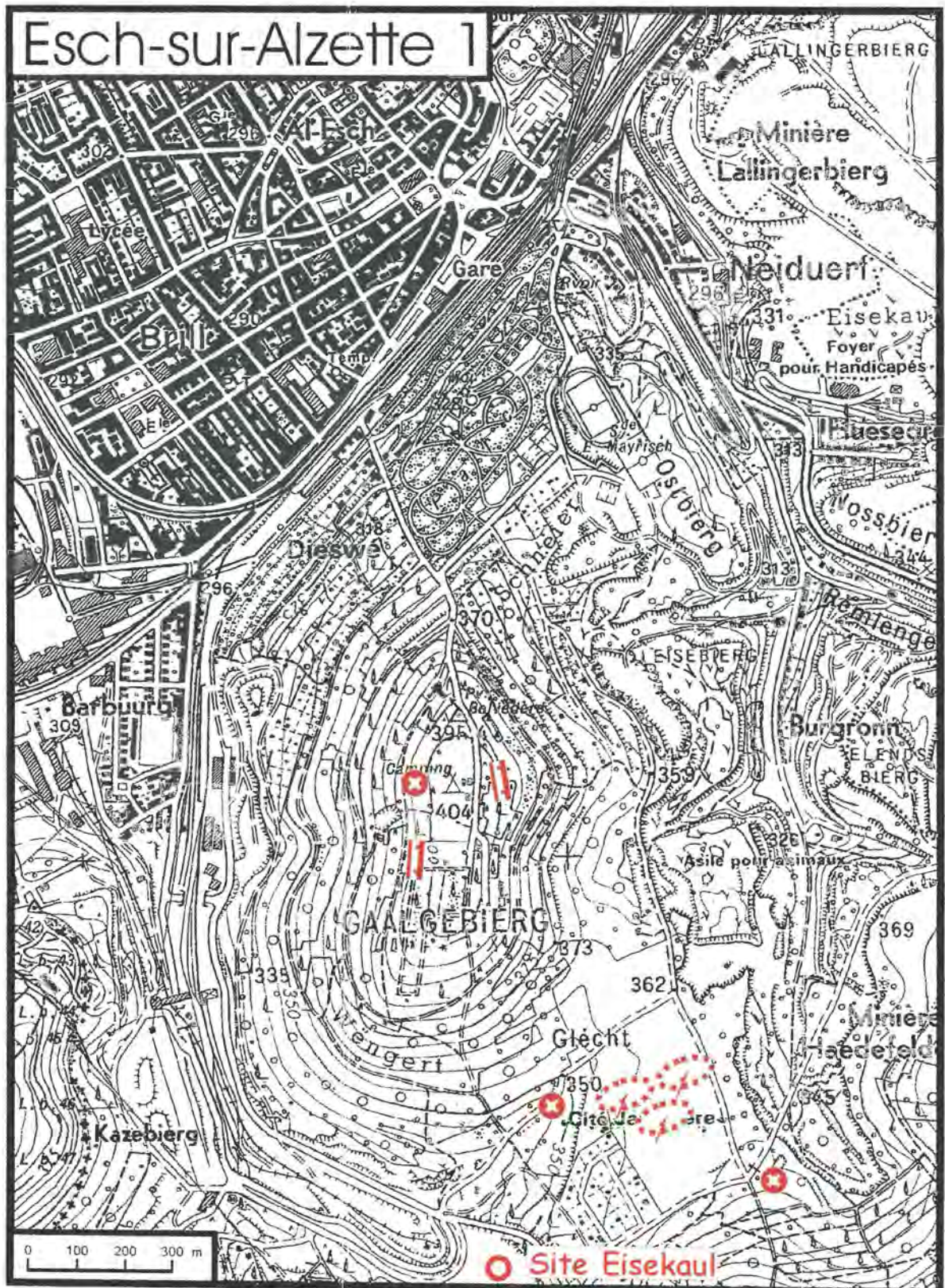


Figure 25: La répartition des affaissements: extrait de carte Esch 1 (échelle 1:12 500)

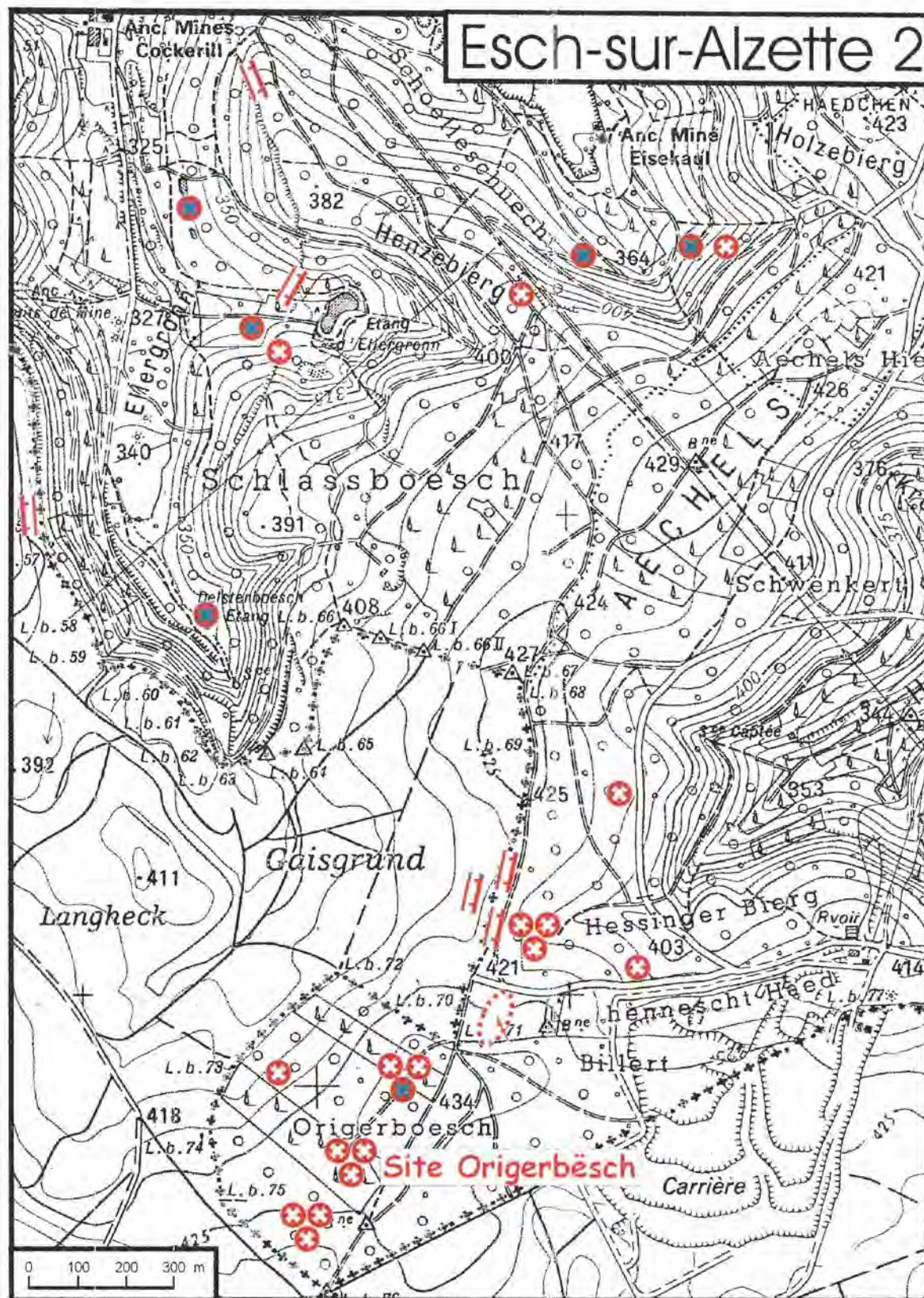


Figure 26: La répartition des affaissements: extrait de carte Esch 2 (échelle 1:12 500)

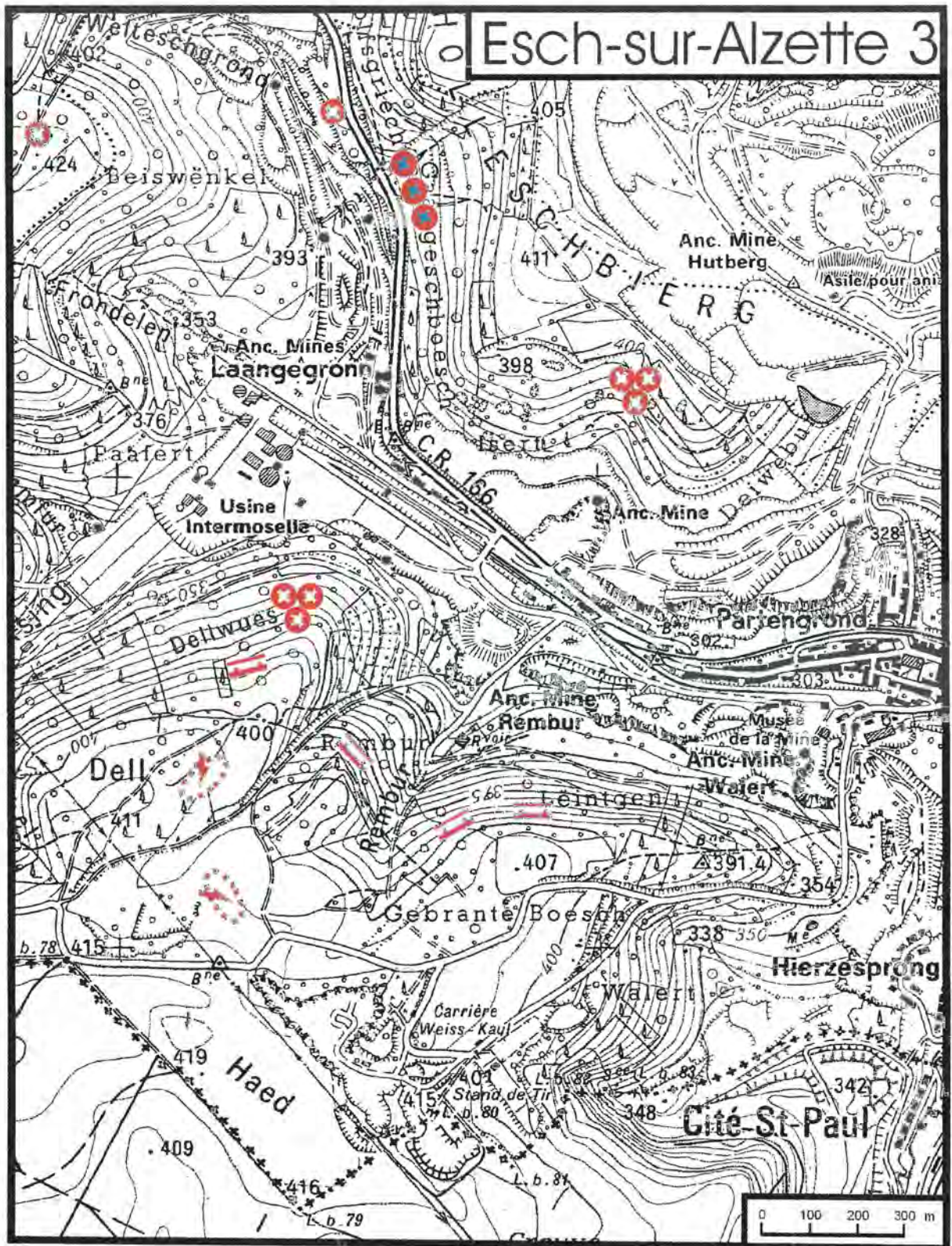


Figure 27: La répartition des affaissements: extrait de carte Esch 3 (échelle 1:12 500)

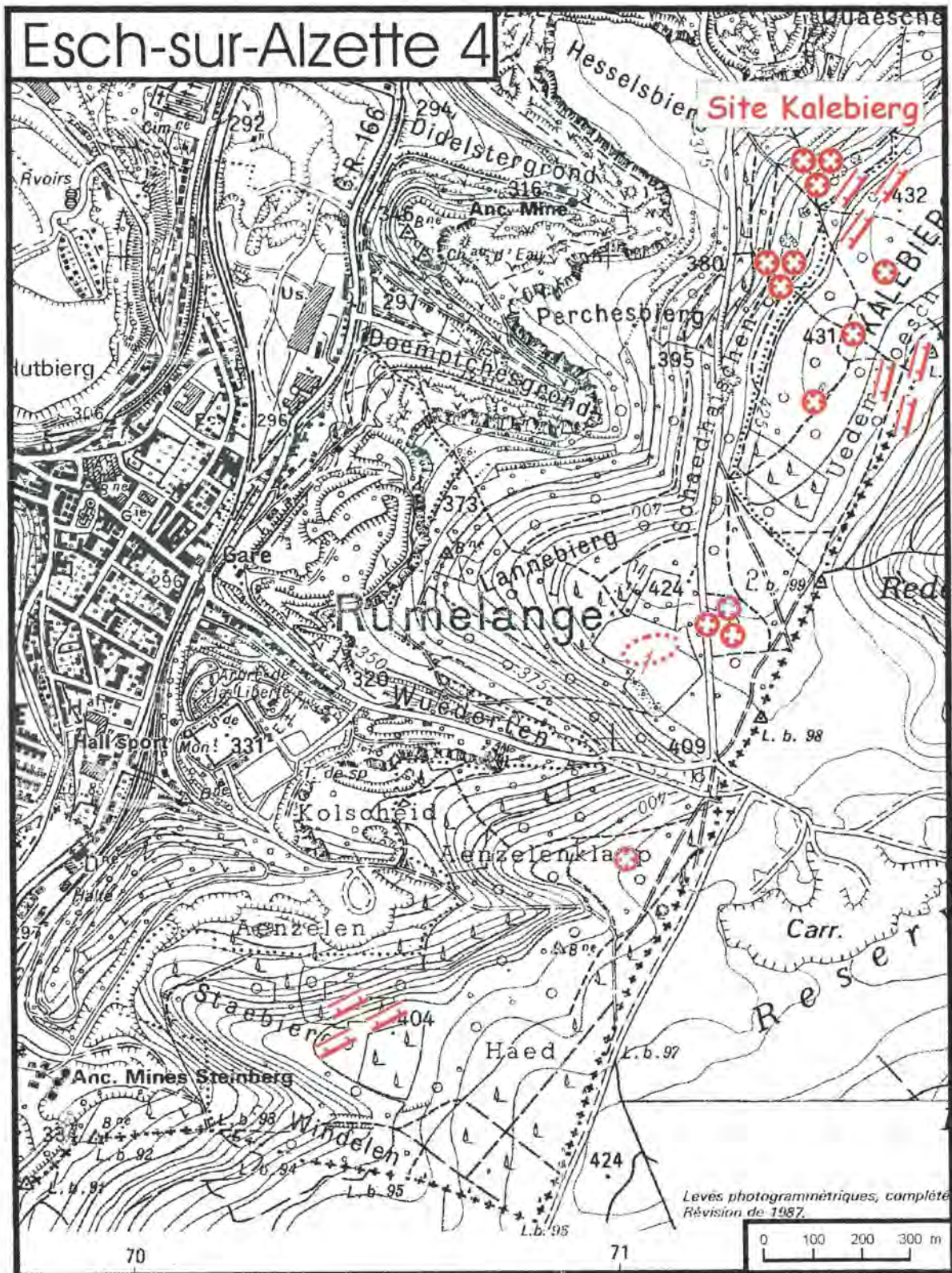


Figure 28: La répartition des affaissements: extrait de carte Esch 4 (échelle 1:12 500)

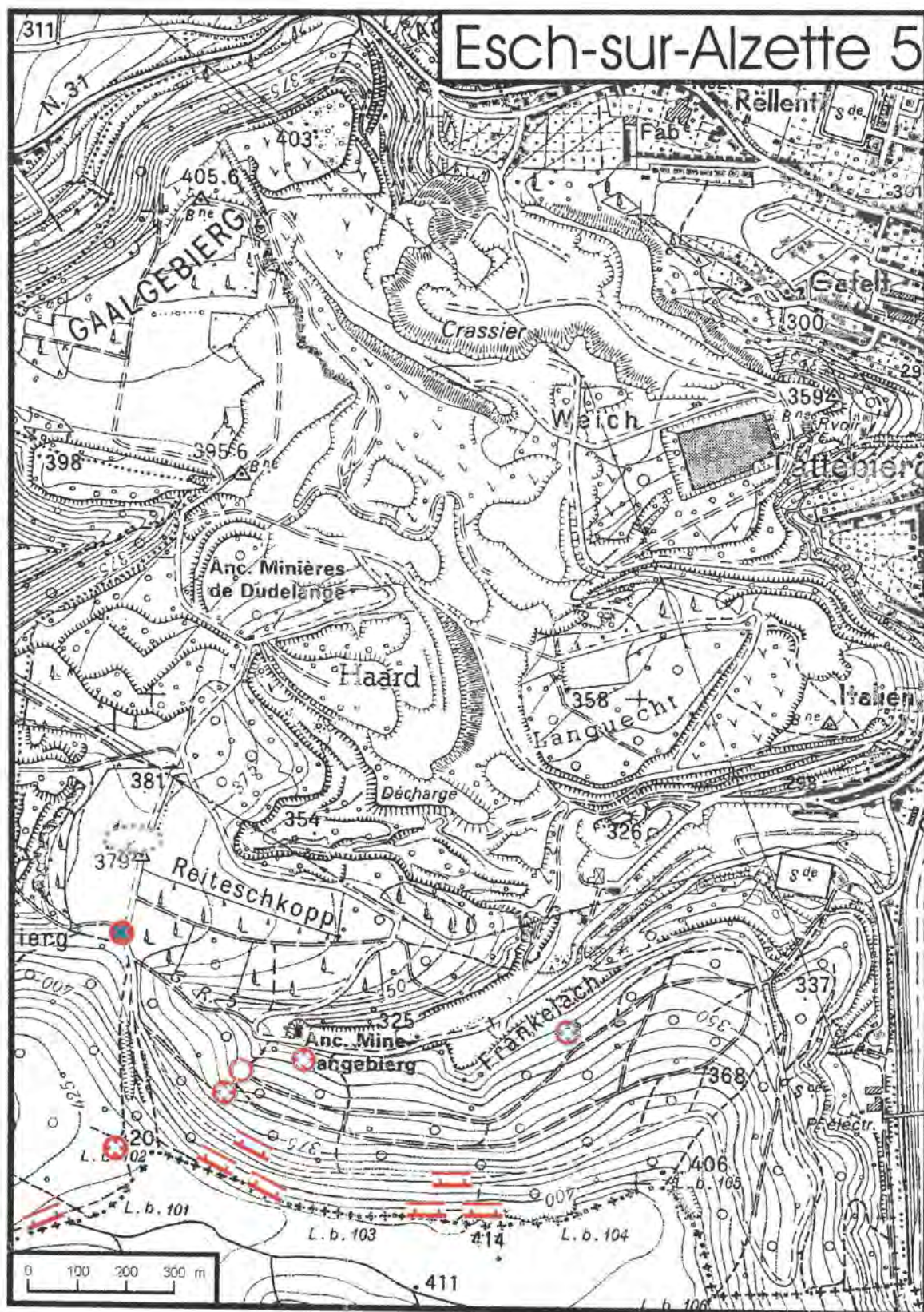


Figure 29: La répartition des affaissements: extrait de carte Esch 5 (échelle 1:12 500)



Figure 30: La répartition des affaissements: extrait de carte Esch 6 (échelle 1:12 500)

2.2 Répartition des formes d'affaissement

L'examen des 11 extraits de cartes (fig. 20 - 30) permet de distinguer deux types de répartition des formes d'affaissement, sur les plateaux d'une part et sur les talus du front de cuesta et des versants de vallées, d'autre part.

2.2.1 Les affaissements de plateau

Dans le **bassin de Differdange**, le plateau bajocien s'étend, d'un seul tenant, d'un bout à l'autre du bassin. Mis à part quelques promontoires sur lesquels affleure la formation de la minette, l'ensemble du plateau est développé dans les roches bajociennes de couverture (fig. 2).

La plus grande partie du plateau appartenait au domaine du concessible et l'exploitation y avait été faite, en majorité, par mines souterraines. Ce n'est que sur les promontoires (Prënzebiërg près de Pétange, Gaalgebiërg et Ronnebiërg près de Belvaux) que dominaient les mines à ciel ouvert.

Dans le **bassin d'Esch-sur-Alzette**, la situation est plus complexe. D'un côté, le plateau a été divisé par les vallées du Kaylbaach et du Didelingerbaach en trois étroites lanières: le plateau d'Esch-Rumelange entre l'Alzette et le Kaylbaach; le plateau de Rumelange-Dudelange entre le Kaylbaach et le Didelingerbaach; le sommet plat du promontoire de Gënzebiërg à l'est de Dudelange¹⁰. D'un autre côté, les lanières de plateau sont étagées: au nord le replat aalénien précède, à une altitude généralement inférieure à 400 m, le plateau bajocien qui culmine à quelque 430 m (fig. 2 et fig. 5).

Sur les lanières du plateau bajocien et sur les collines calcaires (Gaalgebiërg près d'Esch et Holleschiërg près de Dudelange) l'exploitation souterraine fut générale.

- les entonniers

Sur le **plateau de Rumelange-Dudelange** (fig. 28 et 29) se trouvent deux ensembles d'entonnoirs assez espacés. Les entonniers au lieu-dit Kalebiërg sont plus ou moins alignés dans le sens de la longueur du plateau; ceux du lieu-dit Lannebiërg ont une disposition plus irrégulière. Vers le sud, on ne trouve plus que quelques entonniers isolés.

¹⁰ La concession Gënzebiërg n'avait pas été attribuée par l'Etat.

Sur le **plateau d'Esch-Rumelange** (fig. 26), on trouve de nombreux entonnoirs en bordure de la frontière française, dans la région de l'Origerbësch, où se trouvent plusieurs champs d'entonnoirs, de taille contrastée et aux formes parfois capricieuses. Vers le nord, au sommet de la croupe étroite du lieu-dit Aechels, les entonnoirs sont peu nombreux, mais de grande taille.

Tous les entonnoirs des plateaux du bassin d'Esch-sur-Alzette se trouvent en forêt.

Sur le **plateau de Differdange**, les entonnoirs isolés sont peu nombreux. On en trouve quelques-uns, par exemple, aux lieux-dits Bache Jang, Grand Bois et sur les hauteurs de Saulnes, au-delà de la frontière franco-luxembourgeoise (fig. 20, 21 et 23). Mais, ce sont les champs d'entonnoirs qui sont le mieux représentés aux lieux-dits Baraque Bleue, Grouwen, Pellestack, Stauwelsheck, Tillebiërg (fig. 21, 23 et 24). Sur ces sites, les entonnoirs circulaires sont souvent associés à d'autres entonnoirs aux formes irrégulières. Sur le site Baraque Bleue (fig. 21), les entonnoirs sont petits et espacés, alors que sur le site Pellestack (fig. 23), ils sont de grande taille et occupent la majeure partie du terrain.

Mis à part les deux entonnoirs isolés du lieu-dit Bache Jang (fig. 24), tous les entonnoirs du plateau de Differdange se situent dans la forêt ou sur les franges broussailleuses qui bordent les champs ou les prés.

- les entonnoirs-mares

Sur les **lanières de plateau du bassin d'Esch-sur-Alzette**, les entonnoirs-mares ne se rencontrent qu'à un seul endroit, à savoir au lieu-dit Origerbësch (fig. 26).

Sur le **plateau de Differdange**, on trouve les entonnoirs-mares aux lieux-dits Baraque Bleue, Pellestack et Tillebiërg (fig. 21 et 23). Sur les deux premiers sites, les creux qui hébergent les mares ont tous la forme d'entonnoirs aux bords abrupts. Ils sont répartis, sans ordre apparent, au milieu d'autres entonnoirs qui restent à sec tout au long de l'année. Sur le site Baraque Bleue, ils sont peu nombreux et souvent desséchés; au contraire, sur le site Pellestack, ils sont très nombreux et en partie permanents. Sur le site Tillebiërg, une partie des mares sont alignées et remplies d'eau en permanence.

Tous les entonnoirs-mares de plateau se trouvent dans des bois.

- les puits

Il y a un seul puits sur le plateau bajocien. Il se trouve au lieu-dit Longues Raies (fig. 20) à proximité de la frontière, en territoire français.

- les fossés

D'une façon générale, les fossés sont très rares et difficiles à distinguer des entonnoirs composés. Les seuls creux allongés dont les bords soient quelque peu parallèles, tout en ayant des fonds relativement plats, se trouvent sur le plateau de Differdange, à proximité de la ferme Roudenhaff et au lieu-dit Pellestack (fig. 21 et 23).

- les cuvettes et les auges

Les cuvettes subcirculaires, aux pentes douces convergeant vers un point central, ne se rencontrent nulle part. A quelques endroits, sur le sommet du plateau de Differdange, on peut cependant observer des creux au plan assez irrégulier. Comme ces creux, tout en étant irréguliers, ont néanmoins toujours un plan allongé, ils ont été cartographiés comme auges.

Sur le **plateau de Rumelange-Dudelange**, on ne trouve que quelques rares auges aux formes discrètes qui ne sont pas toujours faciles à distinguer de dépressions naturelles du terrain (fig. 28 et 29).

Sur le **plateau d'Esch-Rumelange**, une seule auge a été inventoriée dans un champ du lieu-dit Hessinger Bierg (fig. 26).¹¹

Les auges occupent la plus grande partie du **plateau de Differdange** (fig. 20, 21, 23 et 24). La majorité d'entre elles ont un profil transversal dissymétrique. Leur longueur est souvent de plusieurs dizaines de mètres, mais peut aussi dépasser les 100 m. Leur profondeur est de 1 à 2 m. Ici, les creux les moins profonds peuvent difficilement être distingués de simples irrégularités du terrain. Là où les axes des auges sont parallèles, elles donnent naissance à un relief ondulé.

Sur les plateaux des deux bassins, la présence des auges coïncide, dans tous les cas, avec celle des terrains agricoles. Dans la forêt, on n'en trouve pas.

- les crevasses

Dans **les deux bassins**, on rencontre des crevasses sur le plateau. Leur longueur excède en général 100 m. Leur largeur, leur profondeur et l'ampleur du rejet des lèvres diffèrent beaucoup d'un site à l'autre. Parfois les crevasses se dédoublent sur une partie de leur parcours, mais la plupart des embranchements finissent de nouveau par disparaître. Des entonnoirs viennent souvent irrégulariser les bords et les fonds des crevasses. Toutes les crevasses de plateau se trouvent dans les bois.

¹¹ A d'autres endroits, comme, par exemple, dans les champs qui occupent le sommet de la butte Holleschbierg se trouvent des dépressions peu marquées, aux contours flous, dont l'origine est incertaine.

Dans le **bassin d'Esch-sur-Alzette**, où les surfaces de plateau se continuent au-delà de la frontière, de nombreuses crevasses suivent le tracé de celles-ci.

2.2.2 Les affaissements de talus

Dans le **bassin de Differdange**, le talus fait le tour complet du plateau à la faveur de la vallée de la Crosnière qui dédouble la cuesta (fig. 5)¹².

L'exploitation a été pratiquée à ciel ouvert sur la partie inférieure du talus, tantôt jusqu'au niveau des marnes micacées et tantôt jusqu'à la limite du concessible située plus loin en amont. Au gré du battement de cette limite du type d'exploitation, les creux d'affaissements peuvent descendre plus ou moins loin le long du talus ou rester cantonnés davantage sur sa partie supérieure.

Dans le **bassin d'Esch-sur-Alzette**, le talus est très marqué par le replat aalénien qui prolonge ici le replat des marnes micacées. Sur le replat aalénien, au droit duquel affleure la formation de la minette, l'exploitation à ciel ouvert avait très largement dominé: Haardt près de Dudelange, Hutbiert près de Rumelange, Lallengerbiert près d'Esch-sur-Alzette (fig. 25, 27 et 29). Sur la partie bajocienne du talus, on ne rencontrait, au contraire, que l'exploitation souterraine qui englobait également le domaine des marnes micacées et une partie du replat aalénien, surtout sur les versants des vallées anaclinales qui entaillent le plateau et dans les fonds de vallée, au droit du horst délimité par la faille d'Audun-le-Tiche et la faille médiane.

Dans **les deux bassins**, un nombre appréciable de terrains miniers avaient été exploités d'abord par mines souterraines, puis - les progrès techniques aidant - à ciel ouvert. A la suite de la récupération des piliers laissés en place dans les mines souterraines, les traces de l'exploitation minière, comme celles des affaissements, furent en grande partie effacées. Toutefois de nouveaux affaissements ont pu se produire par la suite, au-dessus de galeries restées intactes. On peut retrouver ces traces à quelques rares endroits dans des mines à ciel ouvert, comme par exemple au lieu-dit Kirchbiert, près de Niederkorn (fig. 22).

- les entonnoirs

Dans le **bassin d'Esch-sur-Alzette**, on rencontre les entonnoirs à tous les niveaux du talus. Sur la partie supérieure du talus, les entonnoirs sont peu nombreux mais, d'une manière générale, de grande taille. Au lieu-dit Kalebiert (fig. 28), ils sont alignés et suivent les courbes de niveau sur une distance de plusieurs centaines de mètres. On trouve ici les plus grands entonnoirs du bassin ferrifère. Sur les pentes de la butte Holleschbiert près

¹² Une petite partie du plateau, à savoir les hauteurs de Saulnes, se trouve en territoire français.

de Rumelange (fig. 27) et du promontoire Henzebiurg près d'Esch-sur-Alzette (fig. 26) les entonnoirs ont une répartition plus irrégulière.

Plus nombreux sont les entonnoirs qui se trouvent sur le replat des marnes micacées ou légèrement en amont de celui-ci. Ils y suivent en général aussi les courbes de niveau. On les rencontre en grand nombre sur le flanc occidental de la colline Holleschbiurg (fig. 27). Ils sont moins nombreux, mais encore bien représentés aux lieux-dits Ellergronn, Henzebiurg et Laangebiurg (fig. 26 et 29).

Sur le replat aalénien on trouve quelques entonnoirs isolés aux lieux-dits Glécht et Laangebiurg (fig. 25 et 29).

Dans le **bassin de Differdange**, les entonnoirs sont peu nombreux sur la partie supérieure du talus bajocien (lieux-dits Jongeboesch, Wangert, Stauwelsheck) et ils y sont souvent isolés (fig. 21, 22 et 23). Ce n'est que dans la vallée de la Crosnière - au lieu-dit Häreboesch (fig. 20) - que des entonnoirs en série, calqués plus ou moins sur les courbes de niveau, s'étendent sur une distance de plusieurs centaines de mètres.

Sur le replat des marnes micacées, les entonnoirs sont également alignés sur les courbes de niveau aux lieux-dits Tételbiurg et Grouwen (fig. 21 et 24).

Tous les entonnoirs de plateau des **deux bassins** se trouvent dans les bois.

- les entonnoirs-mares

Les entonnoirs-mares sont bien représentés sur les talus des **deux bassins**. A peu d'exceptions près, ils sont localisés sur le replat des marnes micacées: site Tételbiurg (fig. 21), sites Ellergronn, Holleschbiurg, Laangebiurg (fig. 21, 22, 24). Sur le replat de Tételbiurg (fig. 21), les étangs sont inscrits dans une longue dépression irrégulière qui suit le replat des marnes micacées sur quelque 600 m. Sur le flanc du promontoire Henzebiurg (fig. 26), on trouve également des entonnoirs-mares en amont du replat des marnes micacées. Dans les deux bassins, les entonnoirs-mares contiennent le plus souvent de l'eau en permanence, même si le niveau peut fluctuer sensiblement au cours des saisons. Il n'y a pas d'entonnoirs-mares sur le replat aalénien.

- les puits

On ne trouve que quelques rares puits, sur le replat aalénien, aux lieux-dits Eisekaul (fig. 25) et Laangebiurg (fig. 29) du **bassin d'Esch-sur-Alzette**.

- les fossés

Il n'y a pas de fossé sur les talus.

- les cuvettes et les auges

Il n'y a pas de cuvette sur les talus.

Les auges sont absentes du talus bajocien, mais on les rencontre à quelques endroits sur le replat aalénien du **bassin d'Esch-sur-Alzette**, par exemple aux lieux-dits Glécht et Reiteschkopp (fig. 25 et 29). Sur le site Glécht les axes des auges sont parallèles et donnent lieu à un relief ondulé.

Toutes les auges du replat aalénien se trouvent dans des champs.

- les crevasses

Dans le **bassin de Differdange**, les crevasses se rencontrent à tous les niveaux du talus, mais elles sont le mieux représentées sur sa partie supérieure. D'un bout à l'autre de la vallée de la Crosnière, de longues et profondes crevasses occupent la plus grande partie du versant luxembourgeois (fig. 20 et 23).

Dans le **bassin d'Esch-sur-Alzette**, les crevasses de talus sont peu nombreuses. Elles sont localisées le plus souvent en bordure immédiate du plateau, comme par exemple aux lieux-dits Kalebiérg et Laangebiérg (fig. 28 et 29).

Sur le replat aalénien, les crevasses se réduisent en général à de simples fissures élargies dont les parois n'ont été que peu altérées par des mouvements de masse. Parfois, comme au lieu-dit Herenterbiérg, les roches délimitées par ces fissures se sont éboulées et ont donné lieu à des cheminées rectangulaires (fig. 30)

Dans les **deux bassins**, les crevasses sont souvent associées en faisceaux plus ou moins parallèles. Leur rejet peut donner alors naissance à un versant en marches d'escalier, par exemple au lieu-dit Laangebiérg (fig. 29).

2.2.3 Le choix des sites étudiés en détail

Pour chaque élément majeur du relief (plateau, talus, replat), des sites principaux ont été choisis en fonction de la variété des creux de subsidence qu'ils hébergent et de leur intérêt pour l'explication génétique de ces formes¹³. A côté de ces sites principaux aux formes d'affaissement associées, des sites secondaires ont été analysés, soit pour étudier des formes d'affaissement qui ne sont pas présentes sur les premiers, soit pour comparer des formes de relief de même type mais présentant, selon les sites,

¹³ Les sites retenus sont indiqués par leur nom sur les cartes de répartition des affaissements (fig. 20-30).

des caractéristiques divergentes. Un total de 10 sites sera donc étudié en détail, dont 6 de plateau et 4 de talus (fig. 19)

Les **principaux sites du plateau** bajocien, à savoir Baraque Bleue (fig. 21) et Pellestack (fig. 23), ont été choisis tous les deux là où le plateau de Differdange connaît son plus grand développement. Il s'agit de sites qui se trouvent à peu de distance l'un de l'autre, où les facteurs naturels (épaisseur du recouvrement, pente de la surface, pendage des couches) sont similaires et où les formes d'affaissements sont de types comparables (entonnoirs, entonnoirs composés, entonnoirs-mares, fossés, crevasses) tout en présentant des différences sensibles (nombre et taille des entonnoirs et des entonnoirs-mares, répartition des entonnoirs, ampleur des crevasses).

Les **sites secondaires du plateau** ont été choisis pour permettre, d'un côté, l'étude de processus et de formes qui n'ont pas pu l'être d'une façon satisfaisante sur les sites principaux. C'est le cas pour l'évolution naturelle des creux de subsidence peu après leur formation (site Longues Raies, fig. 20). D'un autre côté, un certain nombre de formes d'affaissements ont pu être expliquées sur les sites principaux, mais sans que cette explication ait pu être appliquée à toutes les formes similaires du plateau: la formation d'entonnoirs-mares en série (site Tillebiérg sur le plateau de Differdange, fig. 21), la formation des auges à partir d'entonnoirs (site Koeppchen sur le plateau de Differdange, fig. 24) ou la formation de creux à partir d'autres activités d'extraction (site Origerbësch sur le plateau d'Esch-Rumelange, fig. 26; site Grand Bois sur le versant de la vallée de la Crosnière, fig. 23).

Les **principaux sites du talus** ont été choisis dans les deux bassins ferrifères en fonction de la représentativité des formes d'affaissements: pour la partie redressée du talus, le site Kalebiérg dans le bassin d'Esch-sur-Alzette (fig. 28), et pour le replat, le site Tételbiérg dans le bassin de Differdange (fig. 21). Ce dernier site a également été choisi pour la complexité des formes d'affaissements qu'on y rencontre, dont la genèse a d'ailleurs été interprétée récemment par d'autres processus que ceux qui sont liés à l'exploitation minière.

Les **sites secondaires du talus** visent plus spécialement l'étude comparée des crevasses de talus (site Grand Bois dans le bassin de Differdange, fig. 23) et l'étude d'une forme d'affaissement rare, un puits débouchant directement dans une galerie, sur le site Eisekaul du bassin d'Esch-sur-Alzette (fig. 25).

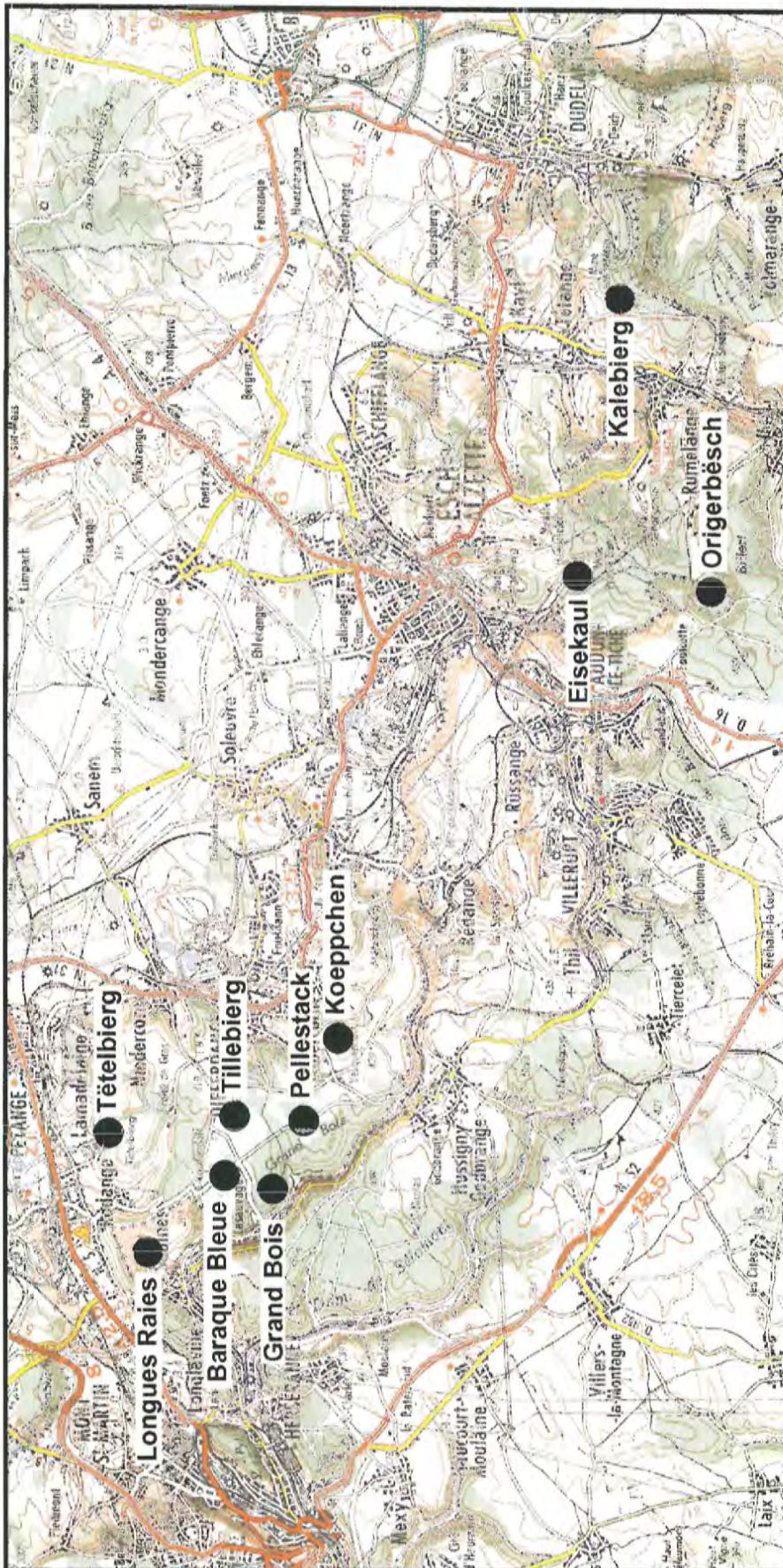


Figure 31: La localisation des sites étudiés

Deuxième partie:

Géomorphologie des sites majeurs et
mécanismes de formation des formes
d'affaissement

Chapitre 3

Les affaissements du plateau

3.1 Les formes associées du site

Baraque Bleue

3.1.1 Le site

Le site Baraque Bleue se trouve sur le plateau de Differdange, au sud de la ferme Roudenhaff, de part et d'autre de la route C.R. 176 qui va de Rodange à Differdange (fig. 21 et fig. 32). L'altitude moyenne du site est de 400 m. La topographie du plateau accuse, à cet endroit, une très légère pente vers l'ouest, en direction de la vallée de la Crosnière. La partie occidentale du site se trouve dans une forêt de hêtres qui est remplacée, vers le nord, par un taillis d'érables, de hêtres et de frênes. La forêt est limitée au sud par une carrière embroussaillée dont l'exploitation a cessé dans les années 1960. La partie orientale du site se trouve dans un pré qui touche à une ancienne carrière du 19e siècle.

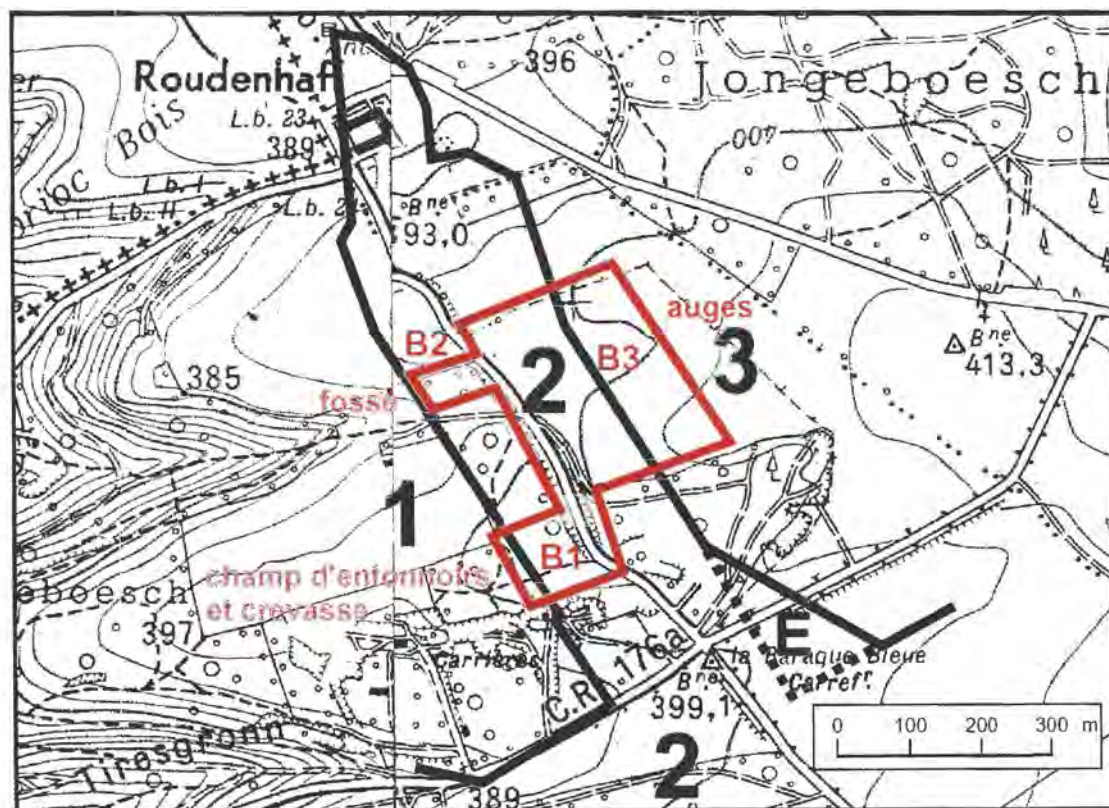


Figure 32: Le site Baraque Bleue (extrait de la carte topographique 1:10 000, feuille 24D, Differdange).

En rouge les limites du site; en noir, les limites des concessions:
 1 = Härebësch, 2 = Tillebiërg-Extension, 3 = Kreuzweg, E = partie échangée
 entre Rodange et Differdange

Les couches géologiques de couverture ont une épaisseur totale de quelque 65 m. Elles se composent de 55 m de couches bajociennes et de 10 m de couches aaléniennes. La couche rouge a une épaisseur de 2,2 m, la couche grise atteint 1,8 m. (fig. 33)

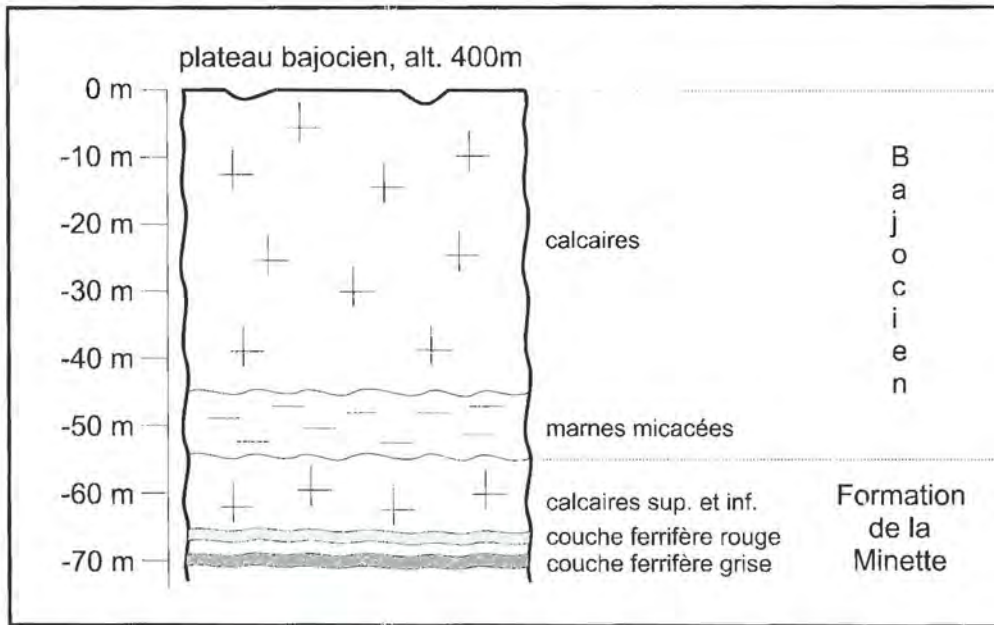


Figure 33: Les couches géologiques sur le site Baraque Bleue (d'après M. Lucius, 1945)



Photo 1: Le Calcaire corallien et les formations superficielles dans la carrière Baraque Bleue (A. Storoni, 1972)

En bas, les bancs de Calcaire corallien; en haut le manteau de gélifrats couvert d'un sol mince; à droite une poche remplie de la formation du fer fort

Les formations superficielles se composent essentiellement d'un manteau de gélifracts calcaires épais d'environ deux mètres, recouvert d'un sol brun de l'ordre de 40 cm. Par endroits, de petits entonnoirs d'origine karstique apparaissent sur le front d'exploitation de la carrière située à l'ouest de la route (photo 1). Elles sont remplies d'une argile de décalcification d'origine latéritique qui appartient à la formation du minerai de fer fort. Des concrétions ferrugineuses sont mélangées en petit nombre à la gangue argileuse.

Le site Baraque Bleue se trouve entièrement dans le domaine de la concession Tillebiërg-Extension qui forme à cet endroit une enclave entre les concessions Härebësch et Kreuzweg (fig. 32).

Les couches ferrifères appelées calcaires supérieur et inférieur (fig. 33) sont peu développées et n'ont pas été exploitées à cet endroit. Les travaux d'extraction dans la couche rouge, située à environ 65 m de profondeur, se sont faites depuis les années 1920 jusqu'aux années 1950. Un stot a été laissé en place dans la couche grise pour protéger la route intercommunale C.R.176 qui traverse le domaine de la concession Tillebiërg (fig. 16), alors que tel n'a pas été le cas dans la couche rouge (fig. 34).

Le site Baraque Bleue regroupe plusieurs types de formes d'affaissement (fig. 21 et fig. 32):

- en B1: un champ d'entonnoirs limité à l'ouest par une crevasse
- en B2: un fossé
- en B3: des auges

3.1.2 Les entonnoirs (B1)

Vingt-huit dépressions fermées ont été inventoriées entre la route et la crevasse (fig. 36). Ces creux sont de forme, de taille et de profondeur très inégales. Au-delà de la crevasse apparaissent d'autres creux moins nombreux et plus espacés qui n'ont pas été analysés.

Les formes des creux dont la profondeur est égale ou inférieure à 0,6 m sont floues. Le tracé exact de leurs bords - qui ont subi des modifications pendant des dizaines d'années - ne peut pas être déterminé avec précision. Parmi ces entonnoirs, quelques-uns peuvent d'ailleurs avoir une autre origine que celle d'un affaissement minier. Il est notamment très difficile de les distinguer de simples trous consécutifs à des chablis. Près de l'entonnoir n° 24, par exemple, se trouve une faible dépression qu'on aurait pris pour un autre affaissement, n'eut été la présence, au bord du creux, d'un arbre renversé entre les racines duquel les matériaux arrachés restaient visibles.

Parmi les entonnoirs dont la profondeur est égale ou supérieure à 0,8 m, sept ont la forme d'entonnoirs circulaires (creux n^{os} 1, 3, 5, 14, 18, 19, 21, 27). Quatre des cinq creux de subsidence du site dont la profondeur est

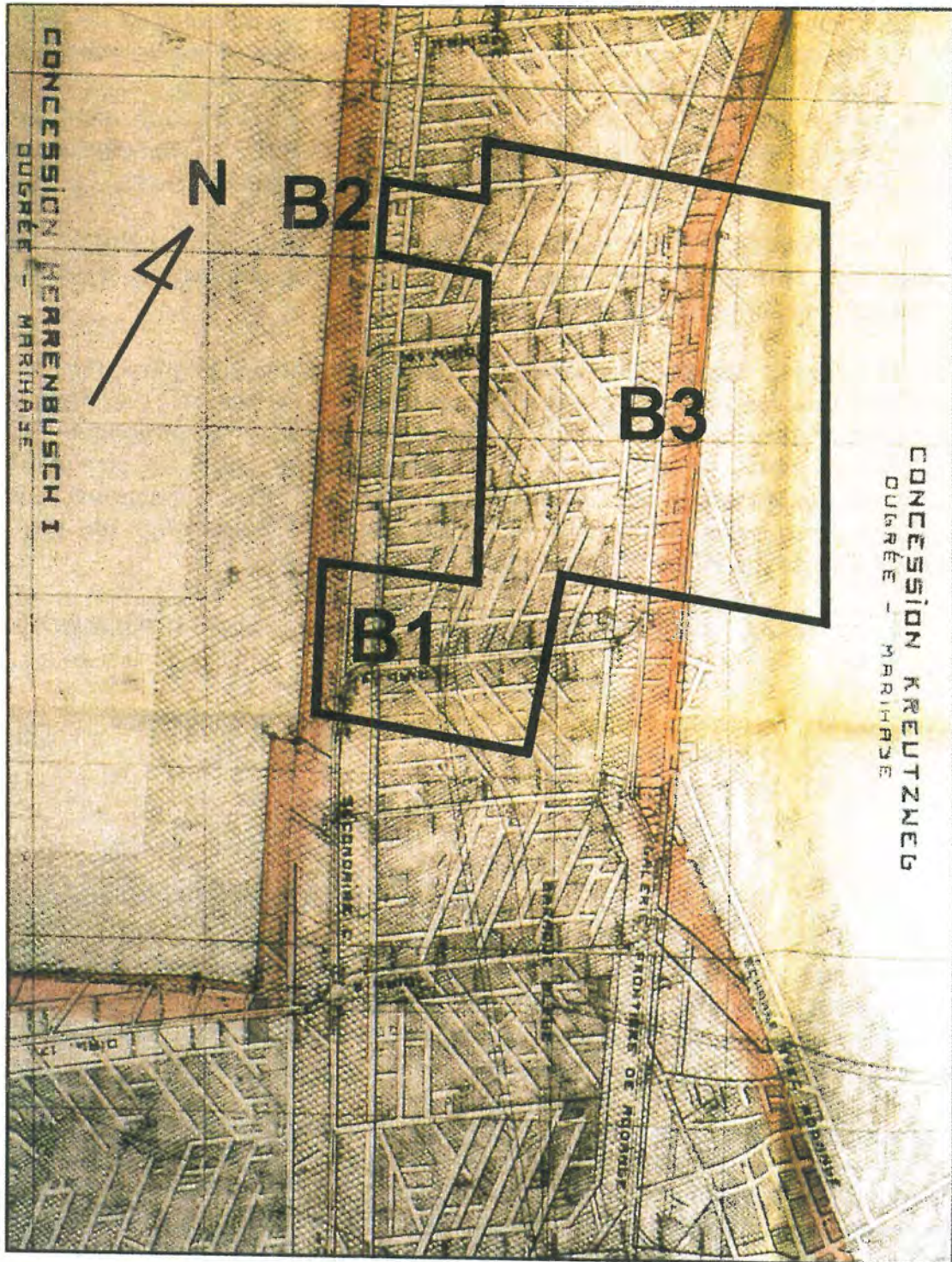


Figure 34: Plan d'exploitation de la couche rouge de la mine Tillebierg-Extension. Echelle approximative 1:4 000 m (Source: Inspection du Travail et des Mines)

Mine incomplètement défilée; pas de stot de protection sous la route

supérieure à 2 m appartiennent à cette première catégorie (n^{os} 1, 3, 5, 19). Ils ont soit la forme conique typique, soit ils présentent un léger épaulement sur l'un des côtés (fig. 35). L'entonnoir n° 1 se prolonge à l'est par un fossé peu profond (fig. 36).

n° du creux	entonnoirs à bords flous	entonnoirs circulaires et elliptiques			entonnoirs coalescents		
	profondeur	long.	larg.	prof.	long. max.	larg. max.	prof. max.
1		9 m	9 m	2,2 m			
2					7 m	3 m	0,8 m
3		5,5 m	5,5 m	2,1 m			
4					17 m	5 m	2,2 m
5		4 m	4 m	2,1 m			
6		4,5 m	1,5 m	0,8 m			
7	0,6 m						
8	0,4 m						
9		5,7 m	3,5 m	0,9 m			
10		4,7 m	3 m	0,9 m			
11	0,6 m						
12	0,4 m						
13	0,4 m						
14		3 m	3 m	1,2 m			
15		2,3 m	1,8 m	0,9 m			
16	0,6 m						
17		6,5 m	3,5 m	1,2 m			
18		4 m	4 m	1,2 m			
19		7 m	7 m	2,7 m			
20		5,5 m	2 m	1,4 m			
21		3,5 m	3,5 m	1,6 m			
22	0,4 m						
23	0,6 m						
24		4,5 m	2,5 m	0,8 m			
25		5,5 m	3,5 m	1,7 m			
26	0,6 m						
27	0,6 m						
28					13,5 m	5 m	1,4 m

Tableau 2: Les entonnoirs du site Baraque Bleue (secteur B1)

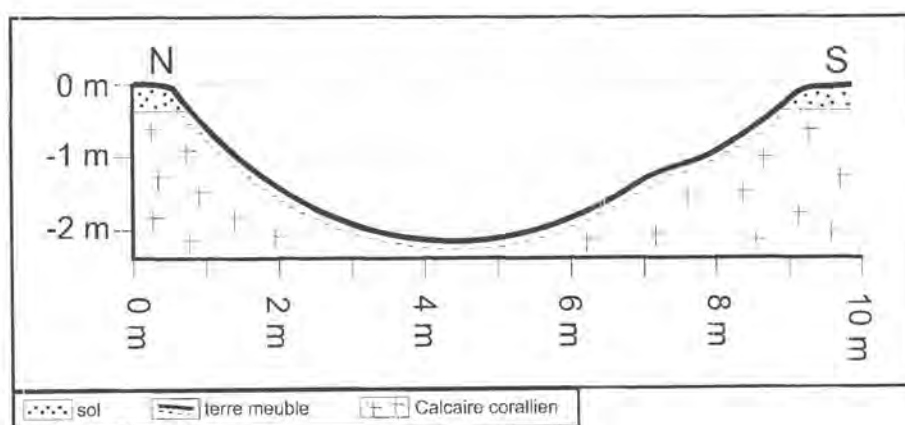


Figure 35: Coupe à travers l'entonnoir n° 1

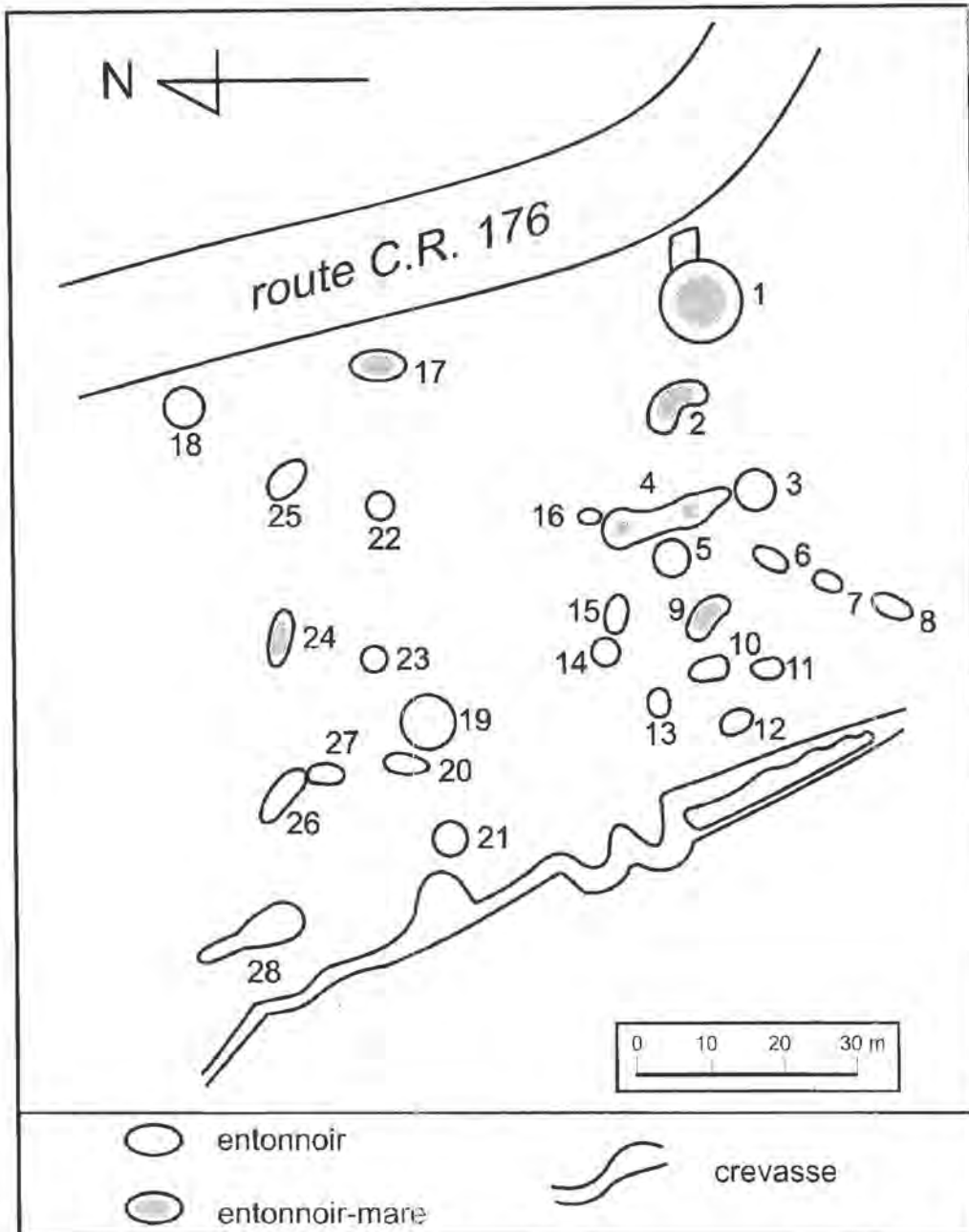


Figure 36: La localisation des affaissements du site Baraque Bleue

Les autres entonnaires de ce groupe ont une forme plus irrégulière. (creux n^{os} 6, 9, 10, 15, 17, 20, 24, 25). Ils ont, en général, un fond légèrement accidenté (fig. 37). Aucun n'atteint la profondeur de 2 m.

Trois creux d'affaissement sont composés de deux parties déprimées, séparées par des seuils; elles ont un fond ondulé (fig. 38). Autant leur plan que leur profil longitudinal permet d'identifier des entonnaires isolés de dimensions différentes qui sont entrés en coalescence. Le seuil qui sépare les deux parties du creux provient du recoupement des pentes. (fig. 39).

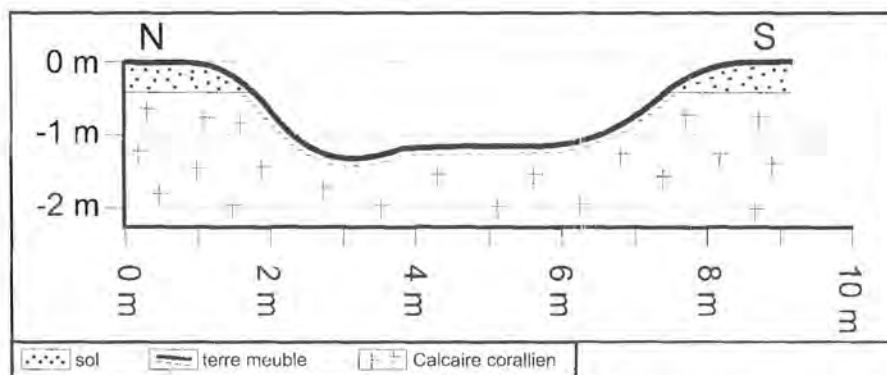


Figure 37: Coupe longitudinale de l'entonnoir n° 17

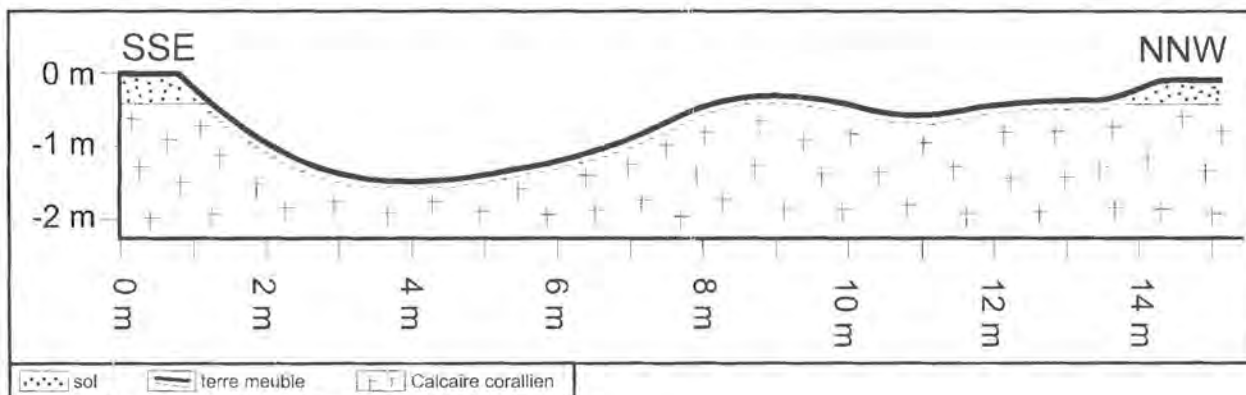


Figure 38: Coupe longitudinale du creux n° 28

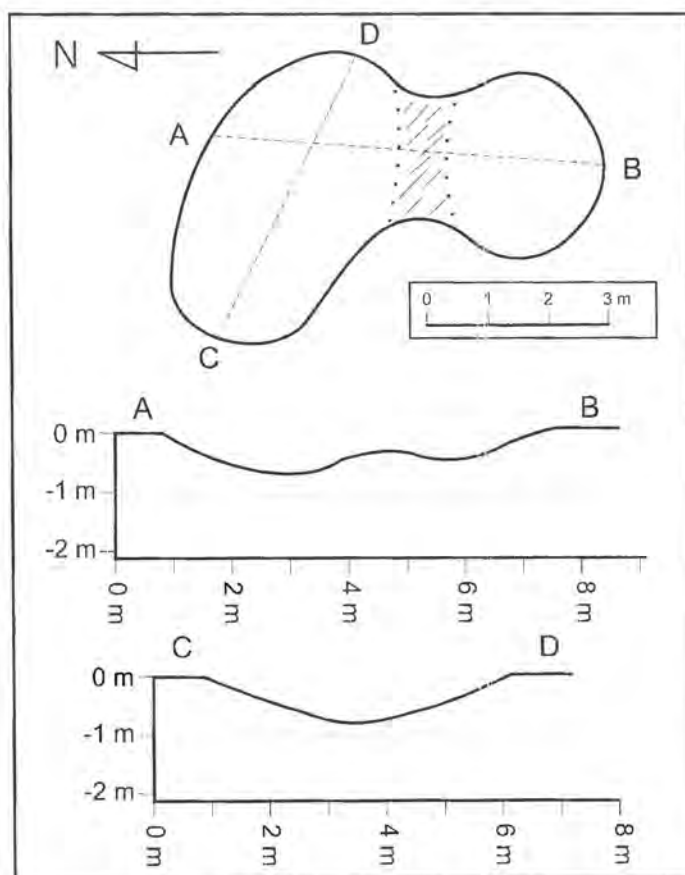


Figure 39: Profil en plan et coupes à travers les deux parties du creux n° 2

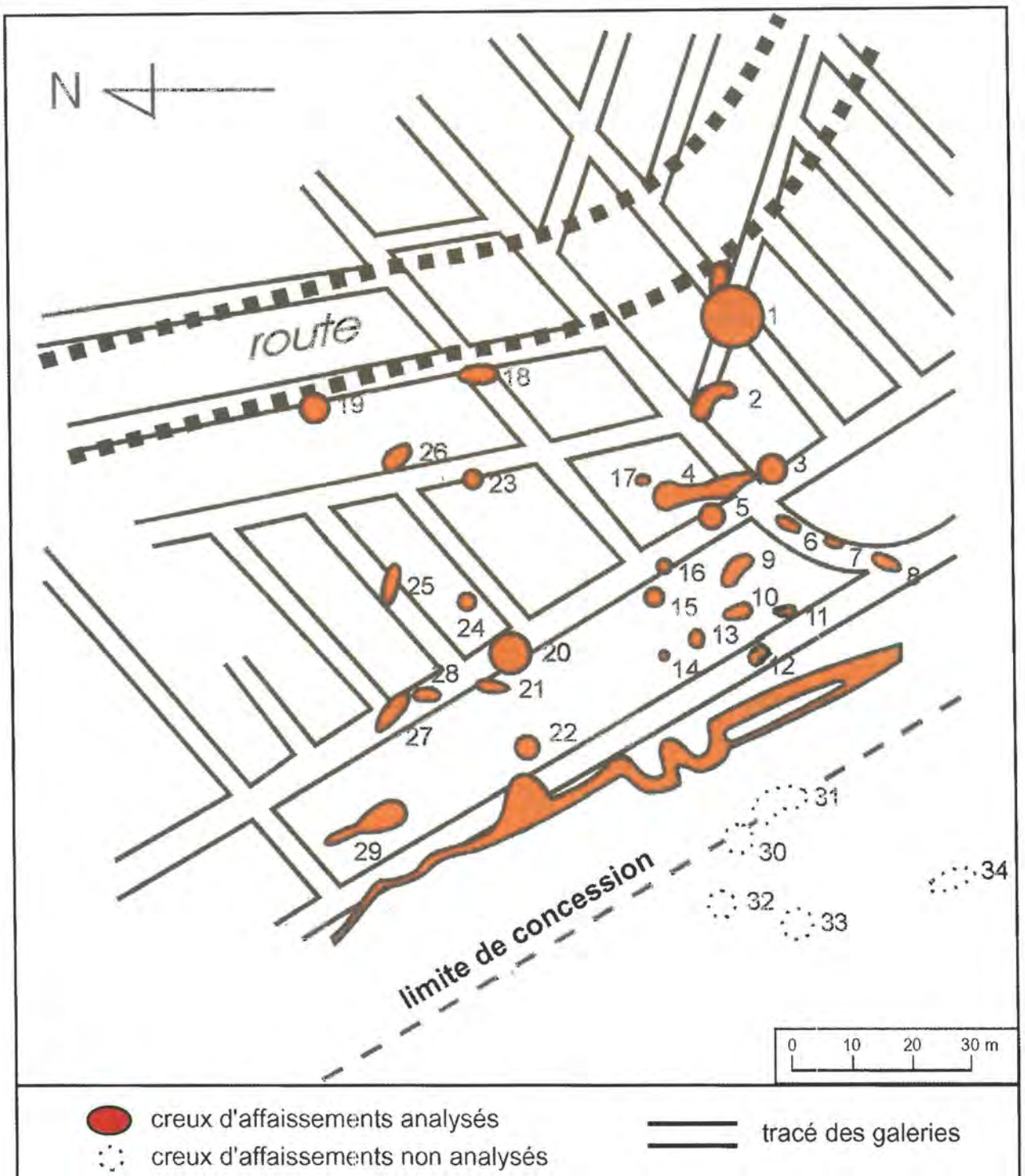


Figure 40: Les affaissements du site Baraque Bleue et la géométrie de la mine

La figure 40 montre que la trame des entonnoirs du site Baraque Bleue se calque assez facilement sur le tracé des galeries d'exploitation¹⁴. A l'exception du n° 19, tous les entonnoirs dont la profondeur excède 2 mètres

¹⁴ Les différences d'échelles entre les documents disponibles, l'agrandissement (20 fois!) de la carte topographique et surtout l'absence de repères topographiques sûrs, communs à toutes les cartes utilisées, rend en partie aléatoire la superposition des affaissements et des galeries.

se trouvent au-dessus d'intersections des galeries de roulage (n^{os} 1, 3, 4, 5). La plupart des autres entonnoirs se trouvent aussi à proximité ou au-dessus de galeries. Seuls quelques petits entonnoirs groupés (n^{os} 9, 10, 11, 13, 14) occupent une zone de dépilage dont le tracé initial des chantiers n'apparaît pas sur le plan d'exploitation. Les dimensions des entonnoirs sont donc liées à celles des cavités minières (voir chapitre 5.1).

Par rapport à de nombreux autres sites, les entonnoirs sont cependant plus espacés et, en moyenne, de taille plus petite. Ce faible développement s'explique encore par les conditions d'exploitation minière assez particulières qu'on rencontre à cet endroit. En effet, la concession Tillebiërg-Extension est réduite, sous le site Baraque Bleue, à une enclave de 250 m de largeur coincée entre les concessions Härebësch et Kreuzweg. La proximité des bords de l'exploitation et les piliers secondaires protégeant les galeries de roulage n'ont pas permis le développement de vastes aires dépillées. En plus, l'absence étonnante¹⁵, dans la couche rouge, d'un stot protégeant la route C.R. 176 (fig. 34) - alors qu'un tel stot existe dans la couche grise sous-jacente - a dû être compensée par une exploitation par piliers perdus¹⁶. D'une façon générale, l'extraction a dû rester partielle en de nombreux endroits de l'enclave. C'est sans doute le grand nombre de piliers qui ont été laissés en place qui aura fait que les affaissements y sont à la fois moins nombreux et plus espacés.

3.1.3 Les entonnoirs-mares (B1)

Sur les 28 entonnoirs du site Baraque Bleue, six gardent de l'eau après de fortes pluies (fig. 36). L'entonnoir n^o 1 est alors rempli aux deux tiers environ, les entonnoirs n^{os} 9 et 17 contiennent quelques décimètres d'eau et les creux n^{os} 2, 4 et 24 ont des fonds humides. Tous les creux de subsidence sont à sec lors de périodes sèches.

La présence de mares sur le plateau calcaire sans écoulement subaérien doit être mise en relation avec la formation superficielle du minerai de fer fort. L'argile de décalcification de cette formation apparaît en effet sur les pentes de l'entonnoir n^o 1, entre les racines d'un arbre renversé à proximité de la mare occupant l'entonnoir n^o 17, sur les parois de la crevasse et sur le front de taille de la carrière voisine (photo 1). En glissant dans les entonnoirs au moment de l'effondrement du terrain, l'argile peut en imperméabiliser le fond

¹⁵ Dans une lettre du 15 juillet 1929, au Directeur Général des Travaux Publics, l'Ingénieur des Mines écrit au sujet du tronçon voisin de la route allant de Lasauvage à Differdange "Dans les autorisations antérieures concernant le dépilage des couches rouges et jaunes, on n'a pas tenu compte de cette situation [passage de la route] pour des motifs que j'ignore." (AEL IM II 19/94)

¹⁶ Clause annexée à une autorisation de procéder au dépilage: "La société laissera un pilier de 10 m en dessous du chemin repris allant de Lasauvage à Differdange. Ce pilier ne sera traversé que de 10 m en 10m par des chantiers larges de 5m au plus. Ces chantiers seront remblayés ultérieurement aussi bien que possible". (AEL IM II 21/169) Cette clause est ajoutée à plusieurs autorisations successives des années 1920 et 1930. Bien que les documents afférents pour la partie de la route allant de Rodange à Differdange n'aient pas été retrouvés, il est probable que l'absence de stot de protection y a la même origine.

et les pentes jusqu'à une certaine hauteur qui dépend de l'importance de la poche de fer fort qui est entamée. Ceci explique le niveau très inégal de remplissage par l'eau.



Photo 2: L'entonnoir-mare n° 1 du site Baraque Bleue (A. Storoni, juillet 1997)
Ce creux se trouve à quelques mètres seulement des bords de la route

3.1.4 La crevasse (B1)

La crevasse qui limite le champ des entonnoirs s'étend, sur une distance de 140 m, en direction du NNW (fig. 36 et 41). Au départ de la carrière, le tracé et le profil transversal changent plusieurs fois d'allure:

- de 0 à 6 m: tracé irrégulier, profondeur maximale 2,5 m, largeur au sommet 4 m;
- de 6 à 35 m: crevasse dédoublée (fig. 42);
- de 35 à 60 m: tracé sinueux, profondeur maximale 5 m, largeur au sommet 2 à 3 m
- de 60 à 70 m: crevasse élargie en demi-entonnoir (fig. 43). Au nord et au sud du demi-entonnoir, la crevasse a été comblée en partie par l'éboulement des parois;
- 70 à 140 m: tracé irrégulier, largeur au sommet 1 à 2 m, crevasse en partie colmatée par des glissements qui se sont opérés sur les parois, profondeur maximale 4 m.

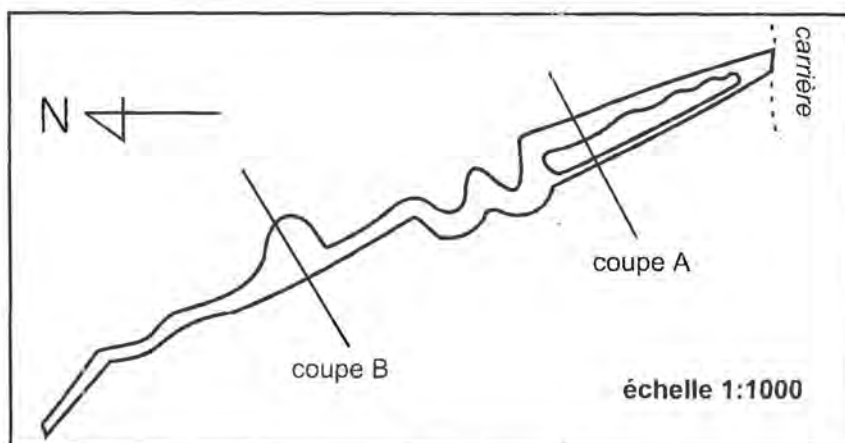


Figure 41: La crevasse du site Baraque Bleue

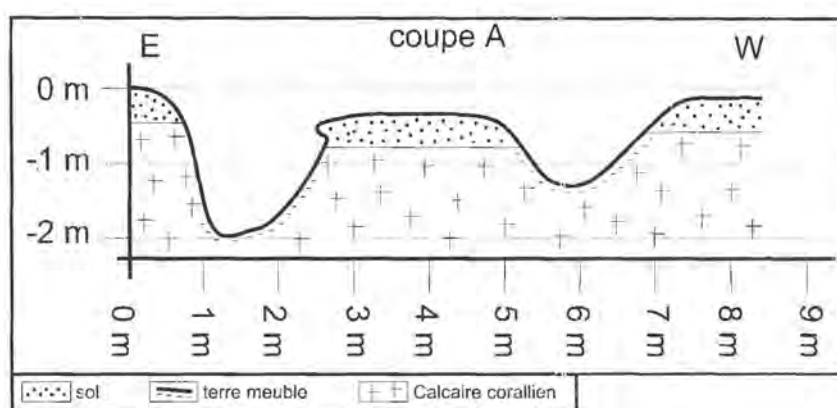


Figure 42: Coupe A à travers la crevasse du site Baraque Bleue

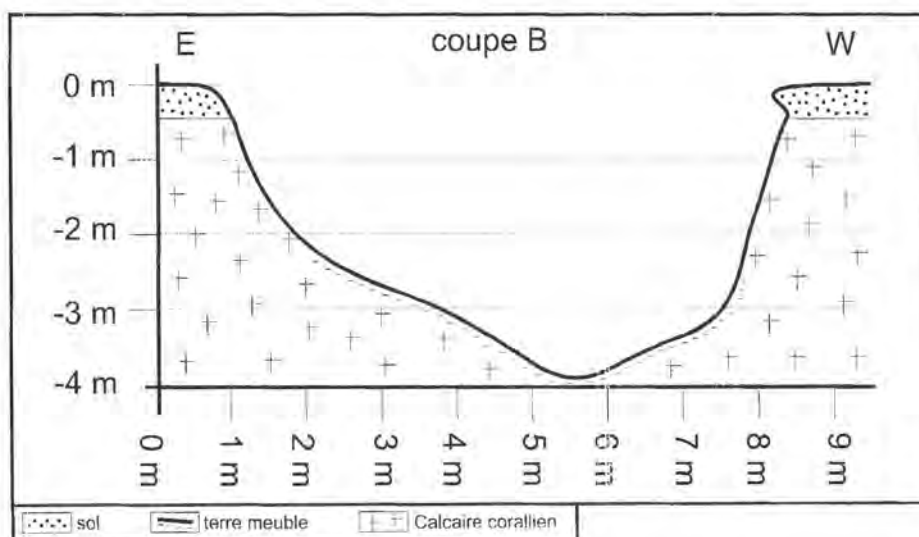


Figure 43: Coupe B à travers la crevasse du site Baraque Bleue

A 140 m du bord de la carrière, la crevasse finit par disparaître aux abords du chemin forestier. Elle réapparaît plus loin et se continue jusqu'à la limite septentrionale du bois (fig. 44). On ne la retrouve plus dans les champs avoisinants.

La crevasse du site Baraque Bleue est grosso modo parallèle à la limite des concessions TillebiERG-Extension et HärebësCH (fig. 26). Elle a dû s'ouvrir à la suite de tensions apparues dans les roches de recouvrement de part et d'autre de cette limite de propriété du tréfonds, au droit de laquelle la continuité de l'exploitation a été rompue. En effet, la concession TillebiERG-Extension n'a été attribuée à l'usine de Differdange qu'en 1913, et les travaux n'ont commencé dans l'enclave que dans les années 1920¹⁷. A cette époque, l'exploitation était déjà fort avancée dans la couche rouge de la concession HärebësCH¹⁸. Elle y a cessé dans les années 1930, alors que le minerai a encore été extrait vers 1950 de la couche rouge dans l'enclave de la concession TillebiERG-Extension¹⁹. La crevasse serait donc imputable au fait que les roches de recouvrement reposent à l'Est sur les piliers latéraux de la galerie secondaire de la concession TillebiERG-Extension, alors que, vers l'ouest, elles auront glissé dans les mines abandonnées de la mine HärebësCH. Les entonnoirs situés à l'ouest de la limite de concession appartiennent déjà à cette dernière mine. Il est probable que le demi-entonnoir qui irrégularise la crevasse (fig. 20) soit lié, comme les autres entonnoirs du site, à une rupture locale d'un pilier censé protéger la galerie secondaire.



Photo 3: La crevasse du site Baraque Bleue (A. Storoni, juillet 1997)
Photo prise du nord au sud à l'endroit de la coupe A (fig. 41 et 42)

¹⁷ A.E.L. dossier IM II 11, farde 135

¹⁸ A.E.L. dossier IM II 19, fardes 79 et 94

¹⁹ D'après des plans d'exploitation déposés aux Archives de l'Etat mais non encore inventoriés

3.1.5 Le fossé (B2)

A l'extrémité nord du bois qui longe la route entre la ferme Roudenhaff et le carrefour Baraque Bleue se trouve un fossé de direction NNE-SSW (fig. 44). La largeur du fossé est, en moyenne, de 8 à 10 m, mais des étranglements en réduisent la largeur à plusieurs endroits. La profondeur du fossé est d'environ 1 m (fig. 45). Au droit des étranglements, la profondeur peut diminuer de moitié.

A partir de 40 m du bord de la route, le fossé commence à s'estomper peu à peu. A 75 m de la route se trouve un entonnoir de 1,6 m de profondeur dans l'alignement du fossé. A 90 m, on retrouve la crevasse qui a été décrite au chapitre 3.1.4.

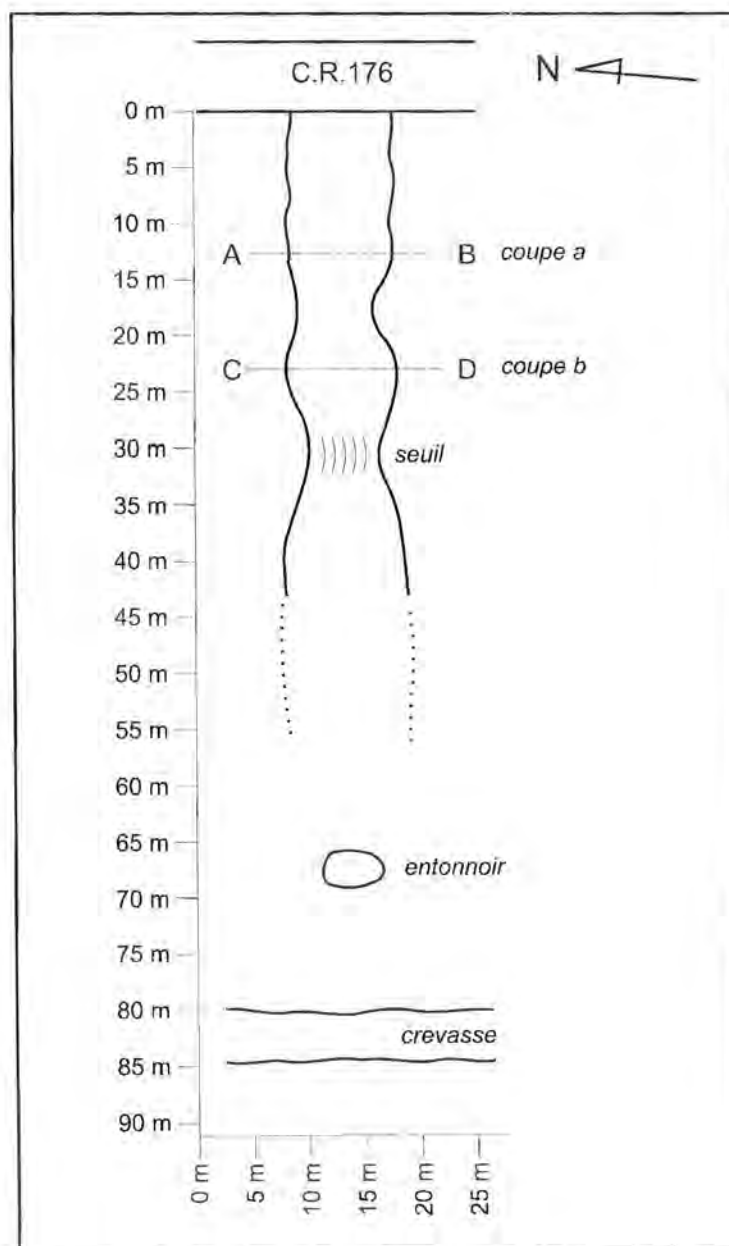


Figure 44: Le fossé du site Baraque Bleue

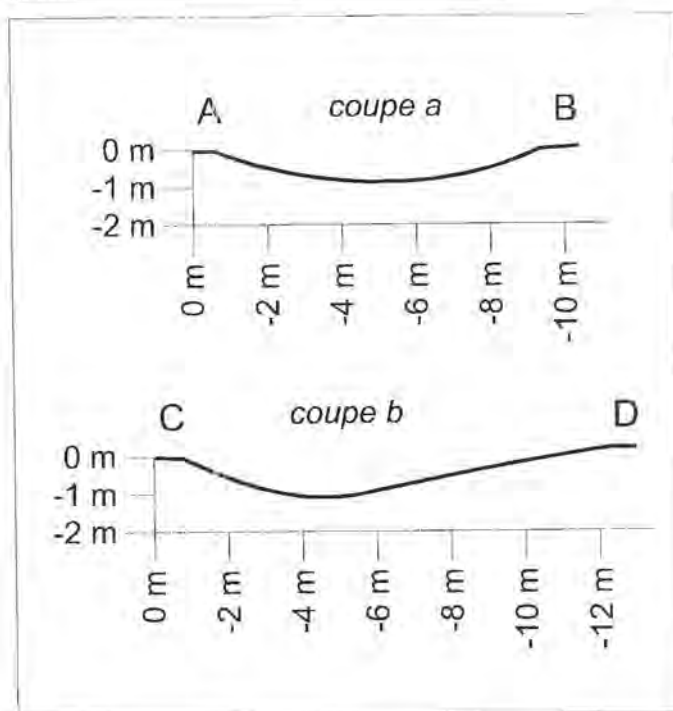


Figure 45: Coupe à travers le fossé du site Baraque Bleue

Le fossé se situe au-dessus d'une galerie de roulage qui passe sous la route. Cette galerie a dû s'effondrer sur une partie de son parcours et donner lieu au fossé à fond plat qu'on observe en surface. Vers l'ouest (fig. 30), où l'effondrement de la galerie n'a plus été généralisé, la subsidence ponctuelle a donné naissance, comme ailleurs sur le même site, à un entonnoir.

3.1.6 Les auges (B3)

Trois auges se trouvent sur le site Baraque Bleue. L'auge principale (auge A) traverse le site du SSW au NNE, sur une distance de plusieurs centaines de mètres, depuis l'ancienne carrière jusqu'aux abords de la ferme Roudenhaff. Vers le nord du site, l'auge A change de direction et se rapproche de 350° N. (fig. 46). Deux auges moins développées rejoignent la première au milieu du site. Au point de rencontre des trois auges se trouve une dépression subcirculaire légèrement plus profonde.

La largeur de l'auge A est d'environ 75 m (fig. 47). Elle se rétrécit légèrement vers le sud. Compte tenu de la dénivellation générale du terrain, la profondeur de l'auge est d'environ 2 m. Elle est plus faible au sud et atteint 3 m dans la dépression centrale. Le profil transversal de l'auge A est fortement dissymétrique sur l'ensemble de son parcours.

L'auge B qui se trouve à l'ouest du site a une profondeur légèrement supérieure à un mètre. Sa largeur est difficile à déterminer car, au nord, elle rejoint le niveau du plateau sans que les limites du versant soient clairement identifiables (fig. 48). L'auge B s'estompe progressivement pour disparaître

aux abords de la route. De l'autre côté de la route se trouve un fossé de 7 m de largeur, à fond assez plat et aux bords abrupts. Ce fossé a la même direction que l'auge B.

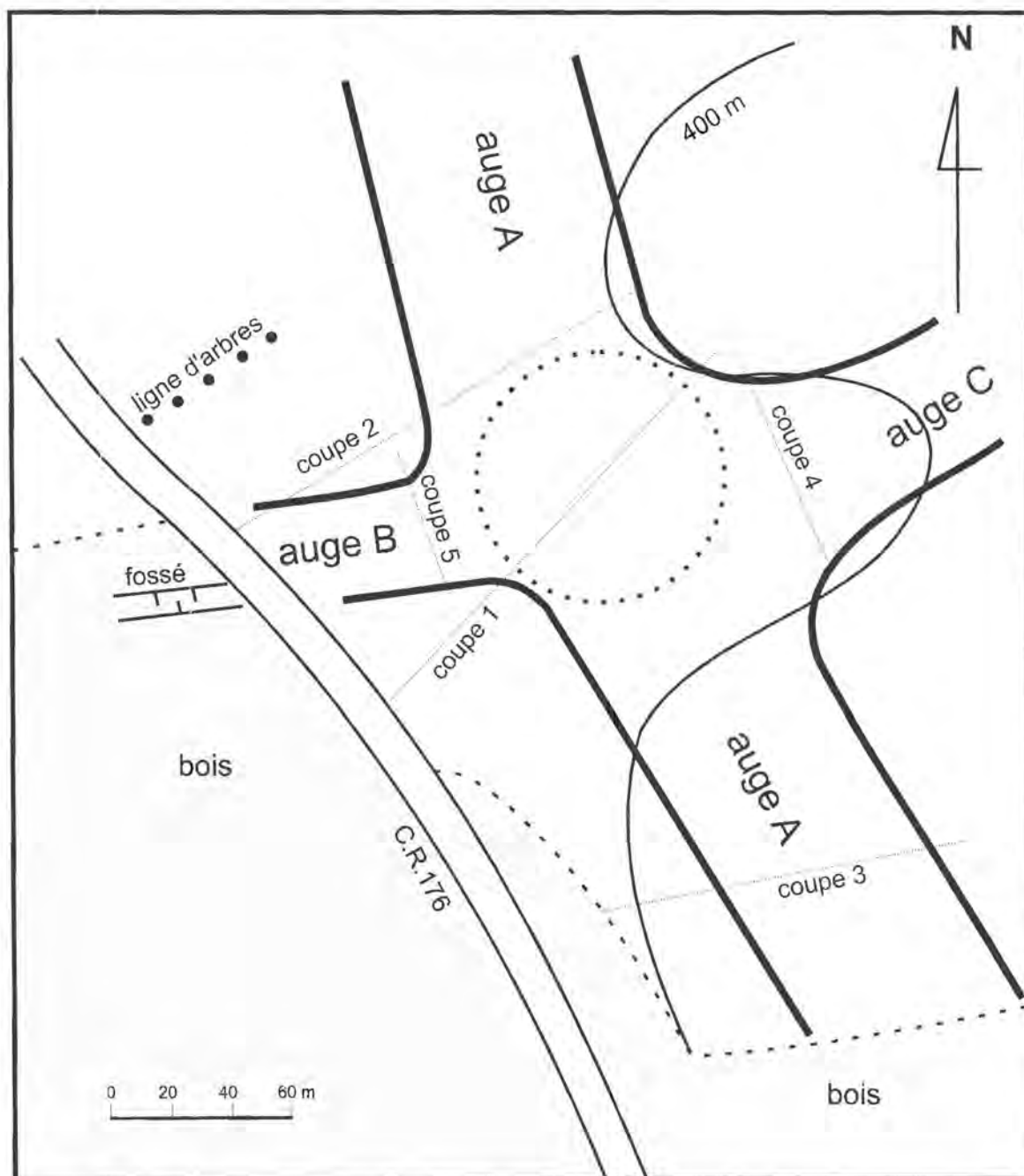


Figure 46: Les auge du site Baraque Bleue (secteur B3)

Une troisième dépression allongée (auge C) rejoint l'auge A à partir de l'Est. Elle a une largeur de quelque 40 m (fig. 49). Elle s'inscrit dans une dépression naturelle du terrain et disparaît peu à peu en se raccordant au sommet du plateau.

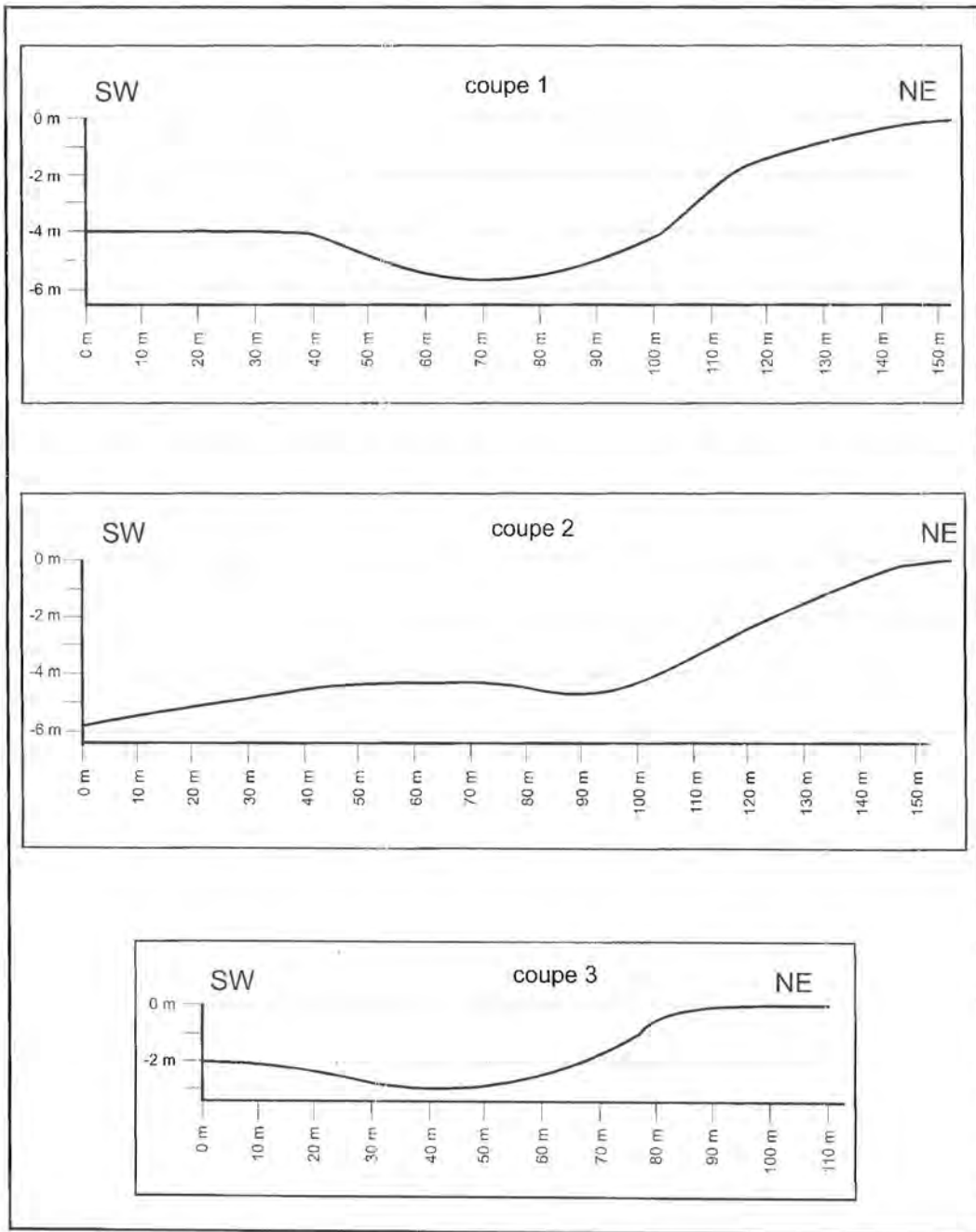


Figure 47: Coupes transversales de l'auge A du site Baraque Bleue

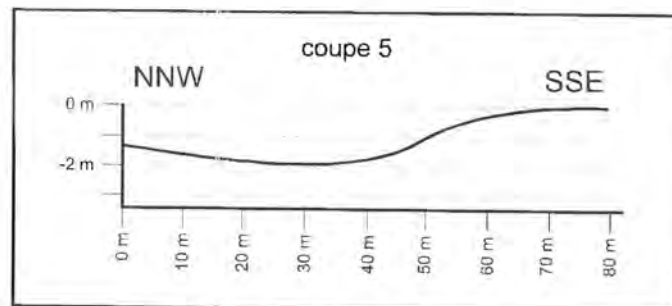


Figure 48: Coupe transversale de l'auge B du site Baraque Bleue

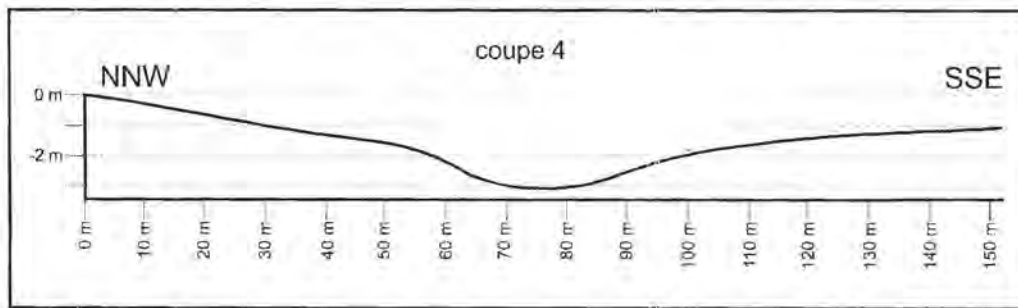


Figure 49: Coupe transversale de l'auge C du site Baraque Bleue

En théorie, les cuvettes et les auges d'affaissement, aux pentes émoussées et sans traces d'arrachage du sol, résultent d'un mouvement de subsidence lent qui se fait aux endroits où le taux de défrètement est très élevé (B. Whittaker et J. Reddish, 1989). On s'attendrait donc, dans le présent cas à retrouver ce type de subsidence. Or, sous l'auge A passe la limite entre les concessions Tillebiereg-Extension et Kreutzweg (fig. 50). Ces concessions appartenaient à deux sociétés différentes²⁰, et, dans la concession Tillebiereg-Extension, la couche rouge fut exploitée plus tardivement que dans la concession Kreutzweg²¹. Comme une galerie de roulage passe le long de la limite des concessions (fig. 34), le défilage n'a pas pu se faire d'une façon uniforme à cet endroit, ce qui exclut une subsidence progressive s'exerçant sur une grande étendue.

Des photos aériennes²² montrent qu'en 1977, un faisceau de crevasses, de même direction que l'auge A, s'était formé en surface sur son bord oriental (fig. 50). Ces crevasses s'expliquent de la même manière que celle de la crevasse située en B1, à savoir par la présence d'une limite entre deux concessions. Le changement de la direction de l'auge A en fonction de celui de la limite entre les concessions souligne les relations entre les deux éléments. Ce n'est que par la suite que ces crevasses ont été partiellement comblées, et les pentes ont été artificiellement adoucies, comme il était de pratique courante sur les terres agricoles appartenant à la ferme Roudenhaff²³.

L'auge B est due probablement à l'effondrement d'une galerie partant de la galerie secondaire qui longe le bord occidental de la concession Tillebiereg-Extension. Cet embranchement se situe exactement sous le fossé (secteur B2) qui se trouve dans le prolongement de l'auge B. Ce fossé d'effondrement aura été préservé dans la forêt, au-delà de la route C.R. 176, alors que dans le pré voisin, il a été remanié et transformé en auge.

L'auge C s'inscrit dans une dépression naturelle du terrain. Rien ne permet d'affirmer qu'il s'agit d'une forme de relief d'origine minière.

²⁰ Tillebiereg-Extension appartenait à l'usine de Differdange et Kreutzweg à l'usine de Rodange.

²¹ A.E.L IM II dossier 19

²² Administration du Cadastre et de la Topographie: Couverture du Luxembourg de 1977, photos 35 et 36

²³ Communication de M. Bosseler de la ferme Roudenhaff, tenancier de ces terres



Figure 50: Les auges et la géométrie de la mine sur le site Baraque Bleue (secteur B3)

En noir, des courbes de niveau; en rouge, les auges; en jaune, la limite des concessions. Les traînées blanches à l'est de l'auge principale sont les anciennes crevasses telles qu'elles existaient en 1977.

Noter le changement de direction de l'auge principale qui correspond exactement au changement de direction de la limite de concession.

Conclusion

L'étude des creux d'affaissement du site Baraque Bleue montre que ceux-ci sont directement liés à la géométrie de la mine. Les entonnoirs et le fossé se trouvent au-dessus des galeries, les crevasses sont orientées suivant les limites des concessions. Le petit nombre de creux d'affaissements est dû à un taux de défrètement très réduit lié aux conditions défavorables dans cette concession.

Dans les prés, les crevasses ont été artificiellement transformées en auges. Il est probable que d'autres formes d'affaissement qui ont subi le même sort ont également pu donner naissance à des auges (voir chap. 3.6 - site Koepchen).

Les entonnoirs-mares sont dus à la présence de restes de la formation latéritique du fer fort. Comme le site Baraque Bleue se trouve à la limite de cette formation, les entonnoirs-mares y sont peu nombreux. Ils sont beaucoup mieux représentés sur les sites Pellestack (chap. 3.2) et Tillebiere (chap. 3.5).

Les auges, issues d'anciennes crevasses, sont le résultat de la réhabilitation des terrains agricoles.

3.2 Les formes associées du site

Pellestack

3.2.1 Le site

Le site Pellestack se trouve sur le sommet du plateau de Differdange, au NW de la ferme Vesque, à l'endroit où deux chemins forestiers rejoignent la route C.R. 176 (fig. 21 et 51). L'altitude est de 420 m. La surface accuse une très légère pente vers le SW. L'ensemble du site se trouve dans une forêt mixte de hêtres et d'épicéas; au sud, il débouche sur des champs.

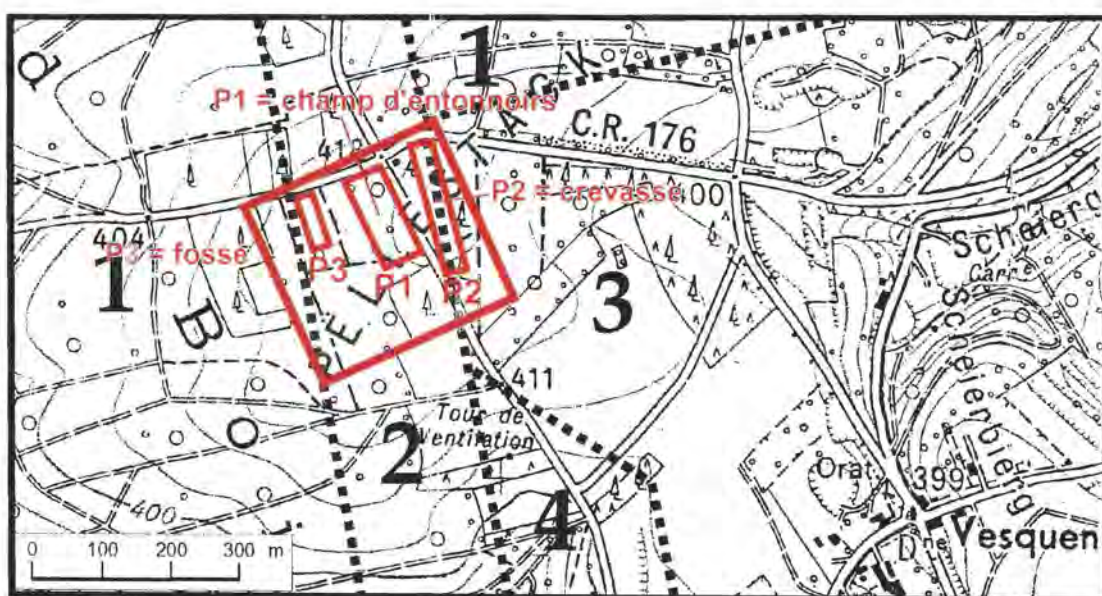


Figure 51: Le site Pellestack (extrait de la carte topographique, 1:10 000, feuille 24D, Differdange)

En rouge les limites du site; en noir, les limites des concessions minières: 1= Tillebiërg-Extension, 2 = Grand-Bois de 38 ha, 3 = Ferme Vesque, 4 = Grand-Bois de 25 ha

Le site Pellestack se trouve entièrement dans le domaine de la concession Grand Bois de 38 ha²⁴. La concession étroite et rectangulaire est entourée des concessions Tillebiërg-Extension, Grand-Bois de 25 ha et Ferme Vesque (fig. 51).

Les couches de couverture ont une épaisseur totale d'environ 80 m. La couche rouge a une épaisseur de 2,7 m, la couche grise atteint 3,7 m. Les deux couches ferrifères sont séparées par un intercalaire de 1,9 m d'épaisseur (M. Lucius, 1945).

²⁴ Au lieu-dit Pellestack existent deux concessions appelées Grand-Bois qui avaient été octroyées à la Société anonyme luxembourgeoise des chemins de fer et minières Prince-Henri. Comme les exploitants des mines concessionnées changeaient de temps en temps, on avait pris l'habitude de désigner ces concessions de même nom plutôt par leur superficie que par le nom de l'exploitant.

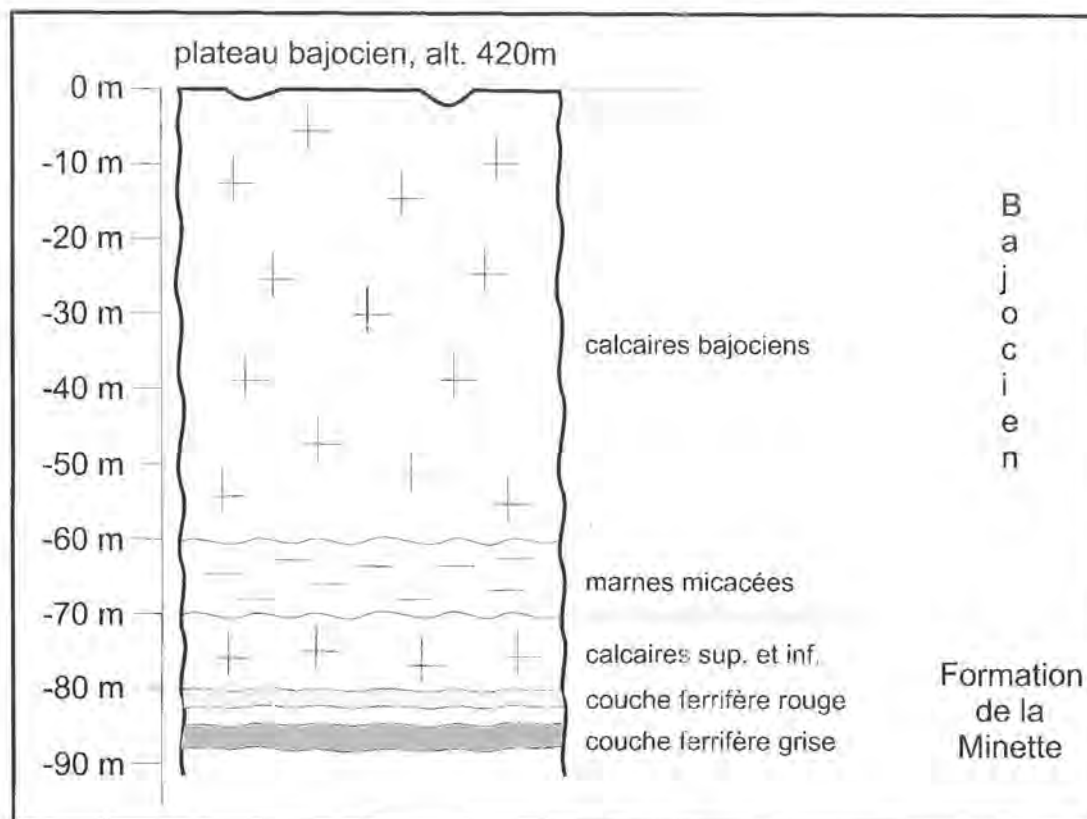


Figure 52: Les couches géologiques (d'après M. Lucius, 1945)

Les formations superficielles se composent d'un manteau de gélifracts d'épaisseur irrégulière, mais en moyenne moins grande que sur le site Baraque Bleue. Le sol brun a une épaisseur moyenne de 30 cm. Constitué en partie des éléments de la formation du fer fort, il est plus argileux que celui du site Baraque Bleue. La formation du fer fort recouvre à cet endroit l'ensemble du plateau. Elle apparaît en de nombreux endroits dans les creux d'affaissement du site.

La concession Grand-Bois de 38 ha fut exploitée d'abord par la Société de Villerupt-Laval-Dieu, puis cédée en 1911 à l'usine de Differdange²⁵. La couche calcaireuse n'y a pas été exploitée d'une manière conséquente²⁶, alors qu'elle l'a été dans la concession voisine Grand-Bois de 25 ha²⁷. La couche rouge a été exploitée dans l'ensemble de la concession.

²⁵ D'abord Deutsch-Luxemburgische Bergwerks- und Hüttengesellschaft, puis HADIR, puis ARBED

²⁶ Dans une autorisation de dépitage de la couche rouge de 1925, il est dit: "C'est la seule couche dans laquelle on a exploité jusqu'à maintenant dans cette partie." Et plus loin: "La Société des Hauts-fourneaux et Forges de Villerupt-Laval-Dieu s'est réservée le droit d'exploiter dans le dit lot de concession la couche calcaireuse pendant 20 ans. Villerupt-Laval-Dieu a arrêté l'exploitation de la couche calcaireuse à la fin de 1913 et ne l'a plus reprise depuis. Bien qu'il paraisse probable qu'elle ait l'intention de l'abandonner, car elle a retiré les rails des voies qui se trouvaient dans les galeries de la couche calcaireuse, il y a lieu d'ajouter aux conditions indiquées ci-avant, que tous les droits de tiers restent formellement réservés" ... (A.E.L. IM II 19 farde 78)

²⁷ A.E.L. IM II 19 farde 73

De nombreux creux d'affaissement se trouvent de part et d'autre du carrefour. Parmi ceux-ci, trois éléments ont été étudiés en détail (fig. 51):

- en P1: un champ d'entonnoirs
- en P2: une crevasse
- en P3: un fossé

3.2.2 Les entonnoirs (P1)

Un ensemble de 19 entonnoirs qui se trouvent dans l'angle SW du carrefour Pellestack a été analysé (tab. 3 et fig. 53). Vers l'ouest et vers le sud de ce groupe, les entonnoirs deviennent moins nombreux. Ils disparaissent complètement au moment où la forêt cède la place aux champs. A l'est du chemin forestier, un autre groupe de creux de subsidence aux caractéristiques semblables s'étend jusqu'aux abords de la crevasse (P3). Ces entonnoirs ne sont pas représentés sur la figure 53.

Les entonnoirs circulaires ou elliptiques sont peu nombreux. On les rencontre exclusivement vers l'ouest et vers le sud-ouest du site (entonnoirs n^{os} 5, 8, 12, 17, 18, 19). Leur profondeur varie entre 0,8 m et 2,1 m.

n° creux	entonnoirs circulaires et elliptiques			entonnoirs coalescents		
	longueur	largeur	profondeur	long. max.	larg. max.	prof. max
1	14,5 m	8,5 m	1,8 m			
2				15,5 m	9 m	1,8 m
3				13,5 m	9,5 m	2,2 m
4				25,5 m	16 m	2,0 m
5	11,5 m	7,5 m	1,5 m			
6				41,5 m	15,5 m	4,0 m
7				35 m	21 m	2,4 m
8	7,5 m	5,5 m	2,1 m			
9				30,5 m	17 m	2,1 m
10				29 m	8,5 m	2,1 m
11				42 m	17 m	2,7 m
12	6,5 m	6,5 m	0,8 m			
13				19 m	9,5 m	1,4 m
14				20,5 m	11 m	2,8 m
15				34,5 m	11 m	1,7 m
16				30,5 m	29,5 m	1,8 m
17	4 m	4 m	1,4 m			
18	3,5 m	3,5 m	1,8 m			
19	8 m	6 m	1,7 m			

Tableau 3: Les creux de subsidence du site Pellestack (P1)



Figure 53: La localisation des creux de subsidence du site Pellestack

Ce sont les entonnoirs coalescents qui occupent presque l'ensemble du site. Leurs versants sont souvent escarpés. Parfois la roche en place fait saillie sur les versants.

Certains creux sont difficiles à délimiter avec précision (exemple: n° 4) parce que des dépressions très peu profondes, à peine esquissées, les prolongent dans différentes directions. Vers l'ouest du site, les formes d'affaissement ont de plus en plus tendance à s'estomper.

Les entonnoirs coalescents sont de deux types:

a) La partie principale est constituée par un grand entonnoir profond. Un ou plusieurs entonnoirs plus petits recoupent les bords du grand entonnoir en formant des saillants (exemple: creux n° 2, fig. 54). Ces entonnoirs sont peu nombreux.

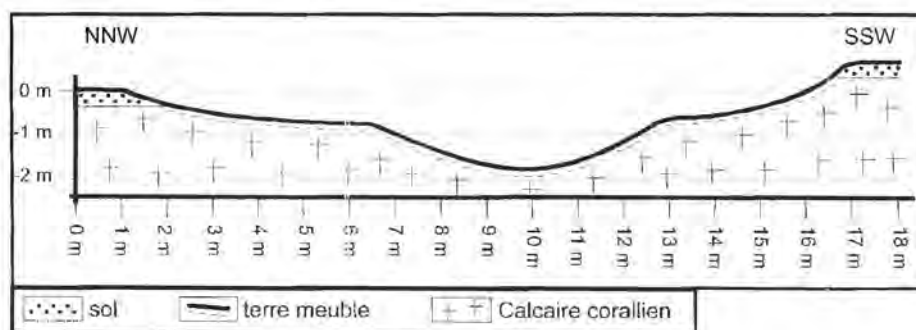


Figure 54: Coupe à travers les entonnoirs coalescents n° 2

b) Deux, trois, voire quatre entonnoirs de taille inégale sont entrés en coalescence. Ils ont déterminé entre eux des seuils (exemple: creux n° 12, fig. 55). Dans d'autres cas, une partie des entonnoirs individuels sont reliés entre eux par des tranchées étroites et peu profondes (exemple: creux n° 16). Tous ces entonnoirs sont en général alignés, mais parfois leurs axes longitudinaux forment un angle plus ou moins important entre eux (exemple: creux n° 10); parfois leur plan est irrégulier (exemple: creux n° 17).

La profondeur maximale des entonnoirs coalescents varie de 1,4 m à 4 m, mais elle est le plus souvent souvent voisine de 2 m (tab. 3), ce qui correspond de nouveau, comme sur le site Baraque Bleue (chap. 3.1), à peu près aux deux tiers de l'épaisseur de la couche rouge. Comme la plupart d'entre eux se composent de plusieurs parties associées, mais néanmoins assez bien individualisées, leurs largeurs et surtout leurs longueurs globales n'ont que peu de signification.

Contrairement à ceux du site Baraque Bleue, les entonnoirs du site Pellestack ne laissent subsister entre eux que d'étroites lanières de la surface initiale (fig. 53). Les conditions naturelles du site (nature et

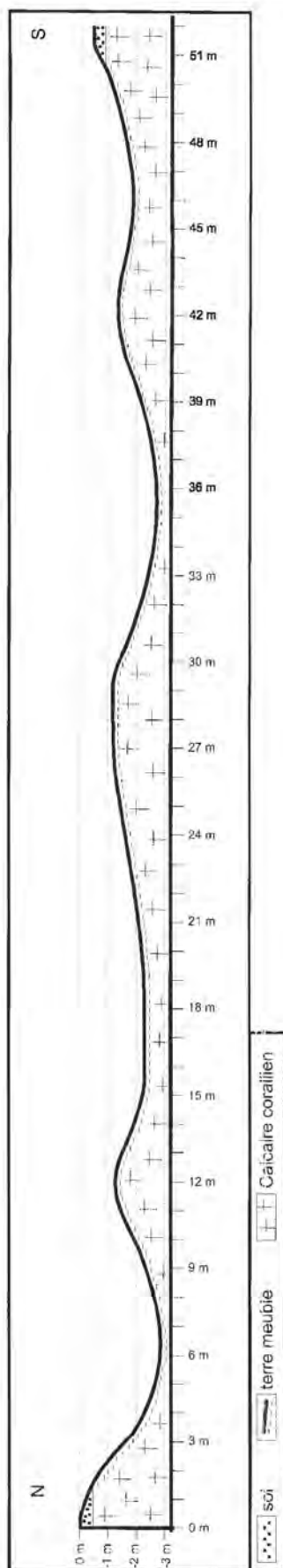


Figure 55: Coupe à travers les entonnoirs coalescents n° 12

épaisseur²⁸ du recouvrement, nature des formations superficielles, topographie de la surface, étant similaires, les différences des formes d'affaissement doivent être attribuées aux conditions d'exploitation.

Le défilage réalisée dans les années 1920 dans la mine Grand Bois (fig. 57) a dû être plus complet²⁹ que celui de la mine située dans l'enclave Tillebiert-Extension, et les vastes cavités minières auront conduit à la création d'entonnoirs plus nombreux et mieux développés, bien que l'épaisseur des couches de recouvrement ait été un peu plus forte. A l'ouest du site où se trouve une galerie principale protégée par des piliers latéraux, les entonnoirs sont moins développés. A cet endroit, où le défilage a dû être plus réduit à cause de la présence des piliers, on retrouve un champ d'entonnoirs similaire à celui du site Baraque Bleue.

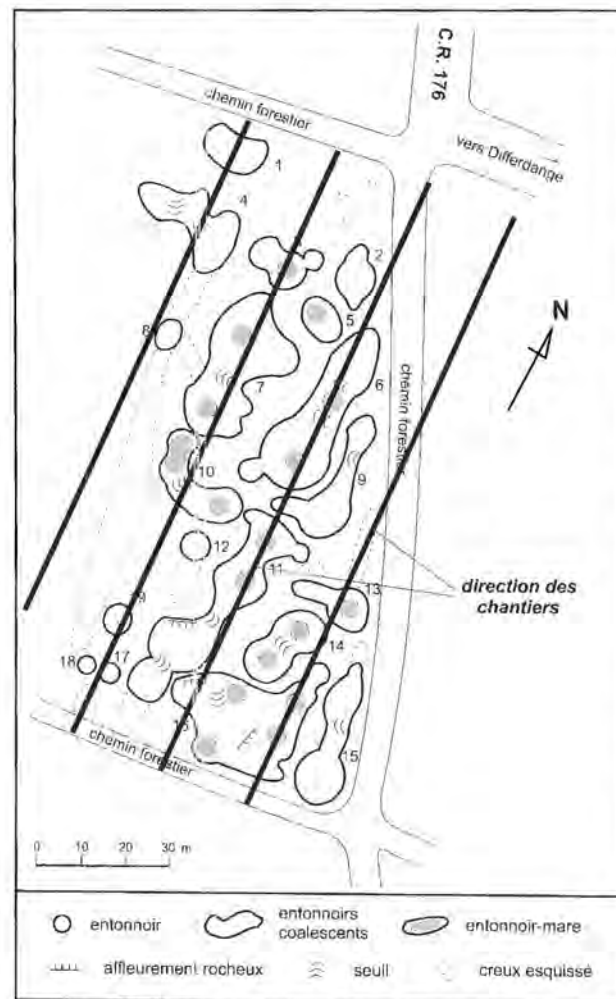


Figure 56: Les creux d'affaissement du site Pellestack et le tracé des galeries dans la concession Grand Bois (secteur P1)
 La trame des chantiers transparait en surface. Elle a guidé l'emplacement des formes. On peut donc reconstituer cette trame à partir de la surface, même si le défilage l'a fait disparaître en profondeur.

²⁸ 80 m de recouvrement sur le site Pellstack contre 65 m sur le site Baraque Bleue

²⁹ Ni le plan d'exploitation de la mine, ni les documents retrouvés ne permettent de penser que le défilage n'aurait pas été fait convenablement

Ces différences mises à part, les entonnoirs du site Pellestack se greffent, comme ceux du site Baraque Bleue, sur la géométrie de la mine sous-jacente. En effet, les axes longitudinaux des creux s'orientent suivant la direction méridienne (fig. 57) qui correspond au traçage des galeries d'exploitation³⁰. La prédominance des entonnoirs coalescents est le résultat du plus grand nombre d'affaissements sur un espace limité qui augmente sensiblement les chances de recouplement de leurs bords.

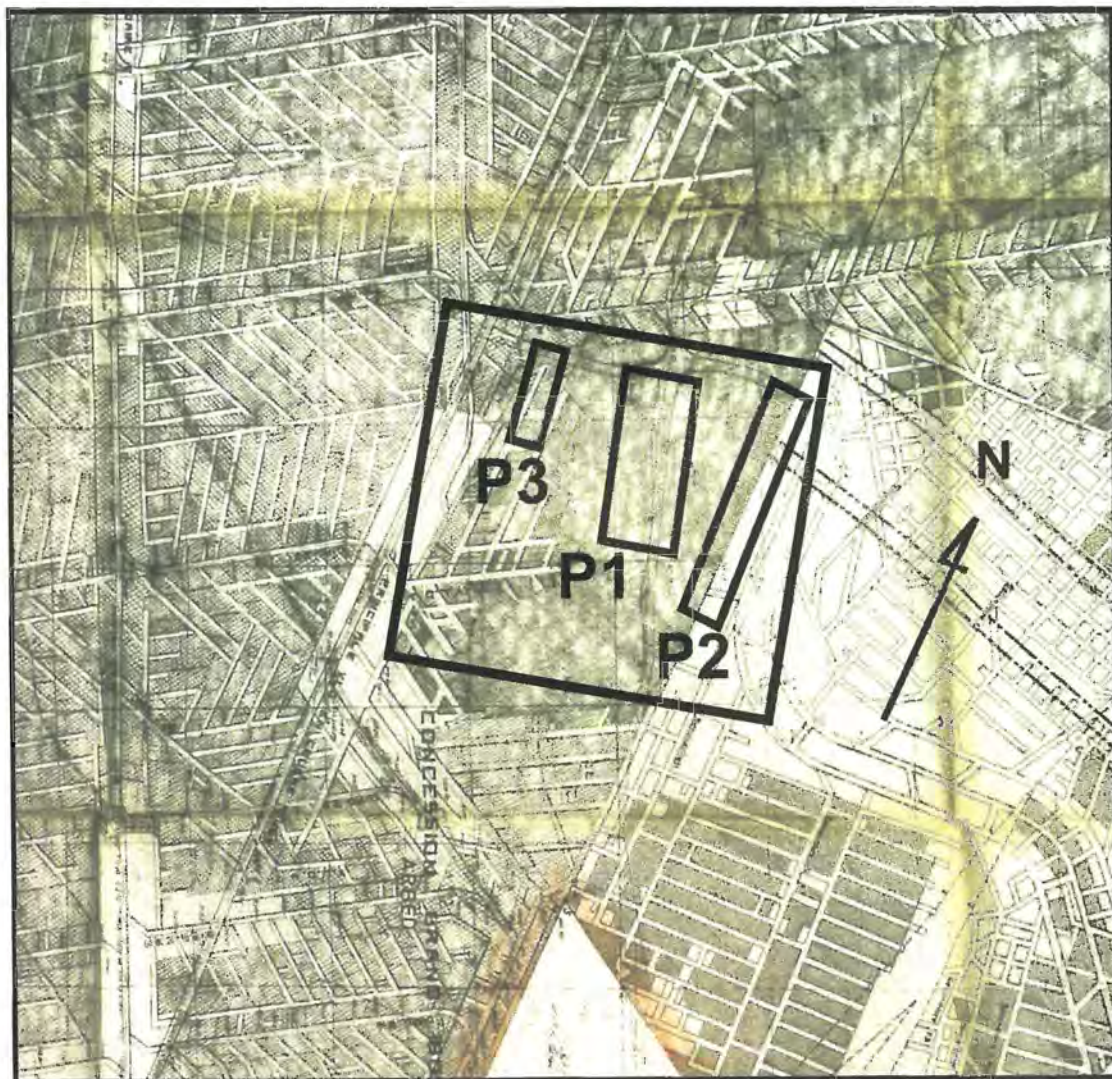


Figure 57: Plan d'exploitation de la couche rouge dans la mine Grand Bois de 38 ha. (Source: Inspection du Travail et des Mines)
Sous P1 et P2, le défilage est complet. La direction des galeries est encore visible à l'ouest du site.

³⁰ A.E.L. IM II farde 19 dossier 78: Plan Grand Bois, Rotes Lager, 1926, échelle 1:1000.

3.2.3 Les entonnoirs-mares (P1)

Une grande partie des entonnoirs coalescents ont des fonds humides (fig. 39) et quelques-uns gardent de l'eau durant toute l'année. A la suite de précipitations prolongées, la partie nord de l'entonnoir n° 10 avait été remplie à raz-bord en avril 1999.

Les mares sont liées - comme sur le site Baraque Bleue - à la présence de la couche latéritique du fer fort qui apparaît à plusieurs endroits dans des entonnoirs coalescents, dans la crevasse et dans le fossé. Toutefois, si, sur le site Baraque Bleue, les mares et les fonds humides étaient peu nombreux, ici ils se retrouvent dans la plupart des entonnoirs, même en période sèche. Quelques entonnoirs gardent de l'eau durant toute l'année. Ceci est dû au fait que, sur le site Pellestack, la formation superficielle du minerai de fer fort occupe l'ensemble du site, c'est-à-dire qu'elle se trouve dans des poches d'origine karstique, mais qu'elle recouvre également en couche mince l'ensemble de la surface du plateau³¹ (cf. chap. 1, fig. 4). Là où l'argile de décalcification se mélange en proportion suffisante au sol glissé dans l'entonnoir et en rend le sol partiellement imperméable, subsiste un fond humide pendant la plus grande partie de l'année. Si ce sont, au contraire des poches de minerai de fer qui ont été entamées par l'affaissement, la part de l'argile devient dominante dans le sol et de l'eau libre subsiste même au plus fort de l'été (photo 4).



Photo 4: L'entonnoir-mare n° 10 du site Pellestack lors d'une période sèche, (A.Storoni, août 1998).

³¹ Carte géologique du Luxembourg, feuille 12, Service Géologique 1988

3.2.4 La crevasse complexe (P2)

A l'est du chemin forestier, une profonde crevasse s'étire du nord au sud sur une distance de quelque 200 m (fig. 51 et 58; photo 5). Elle débute à 20 m de la route C.R.176, au départ d'une dépression parallèle à celle-ci.³² Son tracé est sinueux, mais garde, dans son ensemble, la direction méridienne.

La crevasse a des formes complexes. Elle est composée d'une suite ininterrompue d'élargissements et d'étranglements. Les élargissements ont souvent la forme d'un entonnoir et correspondent, en général, aux points les plus bas du profil transversal (fig. 58 B). A environ 50 m de la route, la crevasse est dédoublée sur une distance de 30 m. La branche occidentale rejoint progressivement le niveau du plateau. Au sud du chemin forestier qui traverse la crevasse sur un remblai, la dénivellation du rejet diminue et la crevasse s'estompe peu à peu pour disparaître à environ 70 m du chemin.

La profondeur de la crevasse est en moyenne de 5 à 6 m au niveau des fonds élargis et de 2 à 3 m sur les seuils rétrécis. Le point le plus bas (fig. 59, coupe 2) est de 9 m. La largeur varie en fonction de la profondeur. Souvent voisine d'une dizaine de mètres, elle peut néanmoins se rétrécir à 3 m ou s'élargir, au contraire, à 20 m selon les endroits. Le sommet de la lèvre orientale de la crevasse est souvent constitué par un abrupt rocheux.

La crevasse est flanquée à l'ouest comme à l'est par des entonnoirs qui recoupent parfois ses bords. A 110 m de la route, se trouve un fond humide; en plus le sol est glissant en de nombreux endroits, aussi bien sur les pentes qu'au fond de la crevasse.

Le tracé de la crevasse correspond exactement à celui de la limite entre la concession Grand Bois de 38 ha (dans laquelle se trouve l'ensemble du site Pellestack) et la concession Vesquenhaff (fig. 51 et 57). Elle est le résultat de l'inégalité des affaissements dans deux mines voisines dont celle de la concession Grand Bois avait été exploitée avant celle de la concession Ferme Vesque (fig. 57).

Loin d'être une crevasse droite et à profil transversal régulier, identique sur toutes ces parties, le plan et les profils montrent (fig. 58) que des entonnoirs sont venus se greffer sur la crevasse proprement dite. Ces entonnoirs appartiennent à un champ d'entonnoirs qui s'étale de part et d'autre de la crevasse. Les deux types d'affaissement - crevasses et entonnoirs - se sont combinés à cet endroit pour donner naissance à un creux d'affaissement complexe.

Le fond humide à 120 m de la route (fig. 59 A) est lié à la présence d'argile de décalcification de la formation du fer fort qui est apparente en de nombreux endroits sur les parois de la crevasse.

³² A noter qu'une autre crevasse se trouve au nord de la route dans l'alignement de celle-ci.

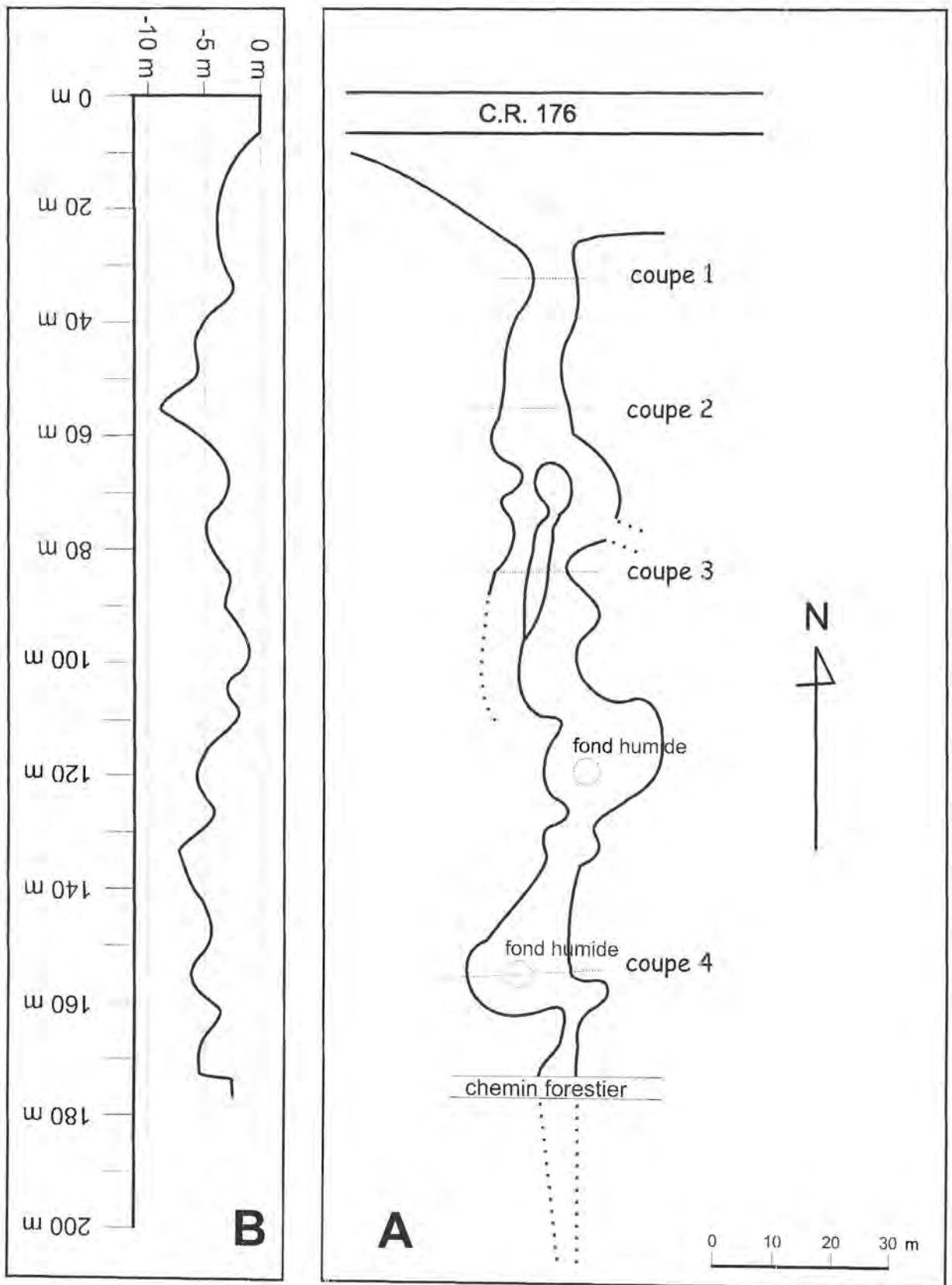


Figure 58: La crevasse du site Pellestack en plan (A) et en coupe (B)

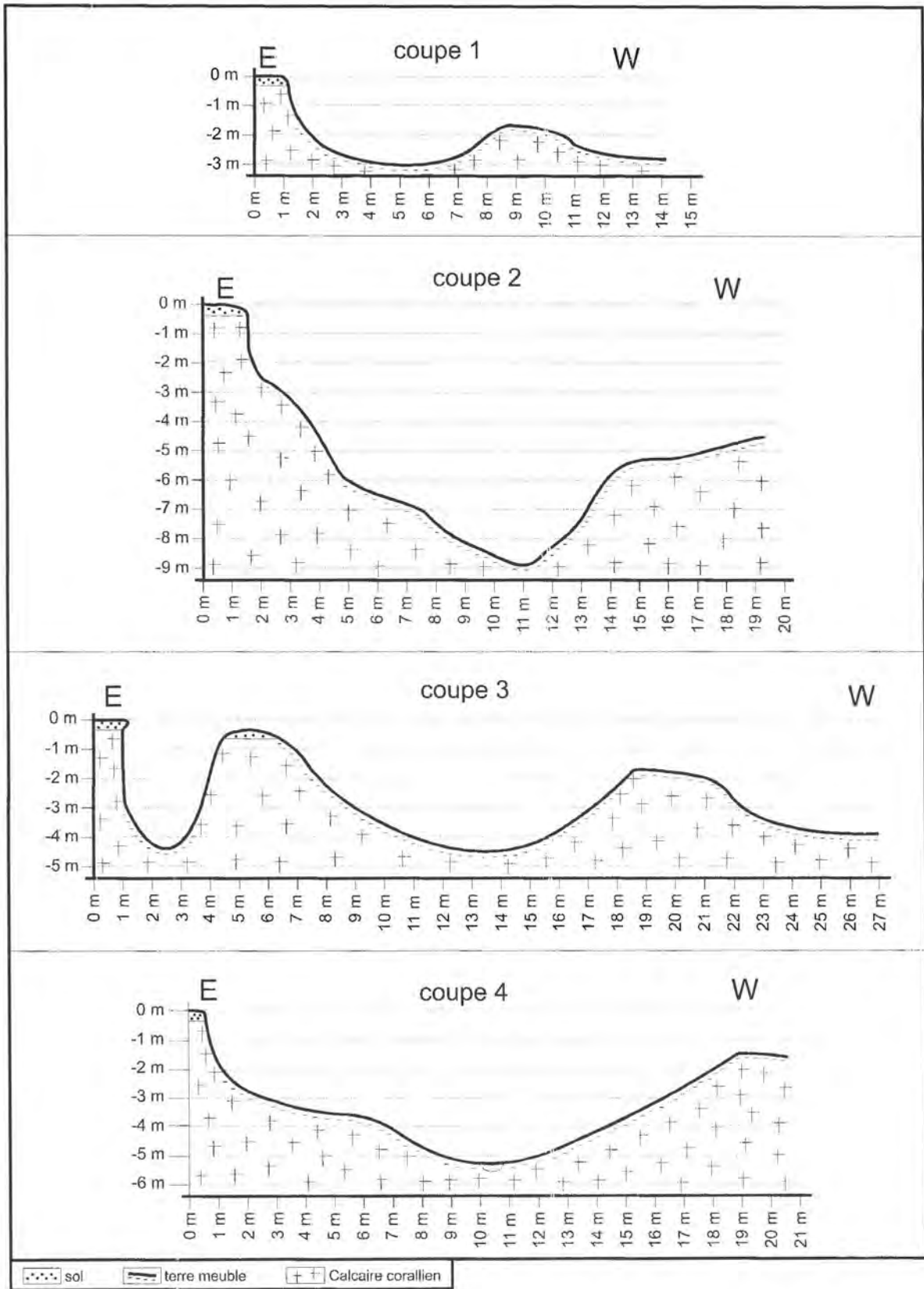


Figure 59: Coupes transversales de la crevasse du site Pellestack



Photo 6: La crevasse du site Pellestack (A.Storoni, février 1999)

*La photo a été prise d'ouest en est à hauteur de de la coupe 2 (fig. 58)
Le grand nombre d'arbres inclinés ou déracinés démontre l'activité de cette forme.*

3.2.5 Le fossé (P3)

A 140 m du coin SW du carrefour se trouve un fossé de quelque 50 m de long et d'une largeur de 12 à 15 m (fig. 51 et 60). Sa direction est inclinée de 15° sur la méridienne. Sa profondeur est de 0,5 à 1 m. Le bord oriental du fossé est droit, alors que le bord occidental a un tracé sinueux.

Une crevasse de largeur et de profondeur inégales suit le bord ouest du fossé sur une longueur d'environ 25 m (fig. 61, coupes 2 et 3). Elle s'estompe ensuite pour laisser la place à une dépression subcirculaire à fond plat qui se transforme en mare par temps de pluie (fig. 61, coupe 3).

Un entonnoir est emboîté dans le fossé à environ 7 m du chemin forestier. A la même hauteur, à proximité du bord occidental du fossé, se trouve un deuxième entonnoir plus petit (fig. 60 et 67, coupe 1).

A 40 m du chemin forestier, le fossé aboutit à un terre-plein occupé par un cabanon. Au-delà, le talus oriental du fossé reprend sur une vingtaine de mètres avant d'être recoupé orthogonalement par une dépression allongée.

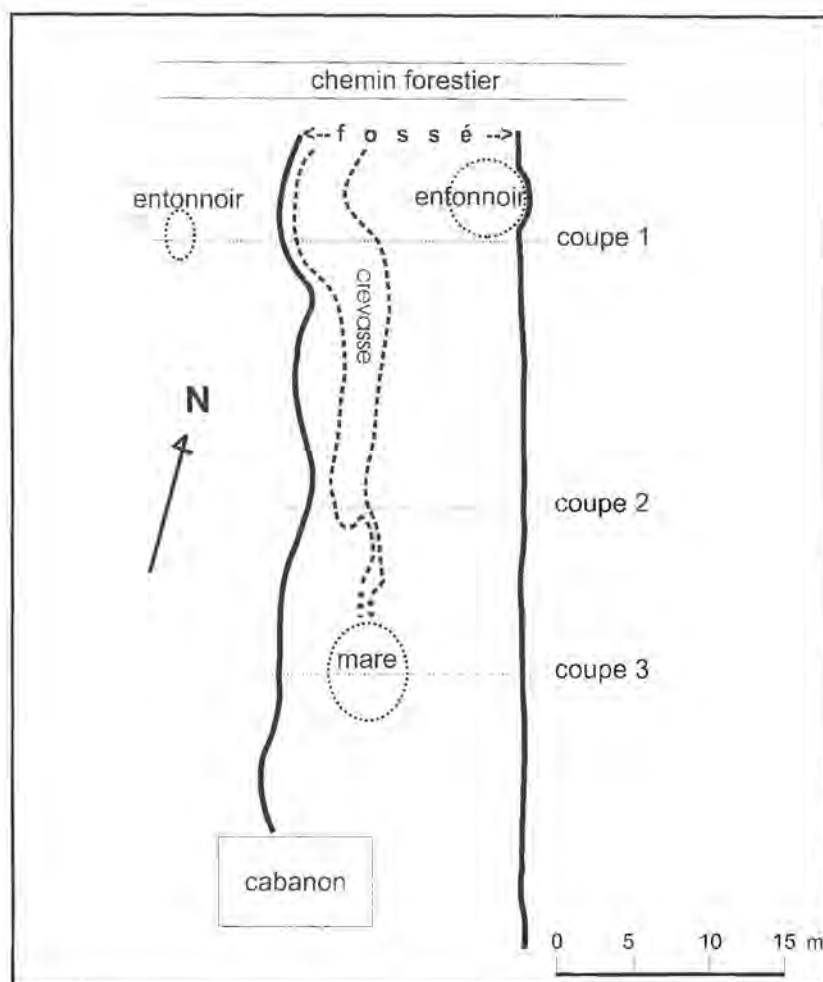


Figure 60: Le fossé du site Pellestack (secteur P3)

Comme le fossé du site Baraque Bleue, celui du site Pellestack correspond également à une galerie secondaire qui s'écarte de la galerie principale située dans l'angle NW du site Pellestack (fig. 57). Vers le sud, le fossé s'arrête à peu près à l'endroit de l'embranchement de la galerie secondaire

La faible profondeur du fossé (fig. 61, coupes 1-3) résulte du foisonnement de la roche et de son impossibilité - à cause de la présence de piliers latéraux - de glisser dans des cavités minières voisines.

La crevasse qui se trouve près du bord occidental peut être due à l'effritement du pilier latéral à cet endroit, ce qui a fait basculer une partie de celui-ci dans la galerie en provoquant un décrochement en surface. Il est possible également que le pendage des couches en direction du SW ait contribué à provoquer la rupture du pilier. Le tracé sinueux du bord occidental du fossé - par opposition au tracé droit du bord oriental - trouverait ainsi également son explication.

Le fond humide du fossé est lié à la formation superficielle du fer fort.

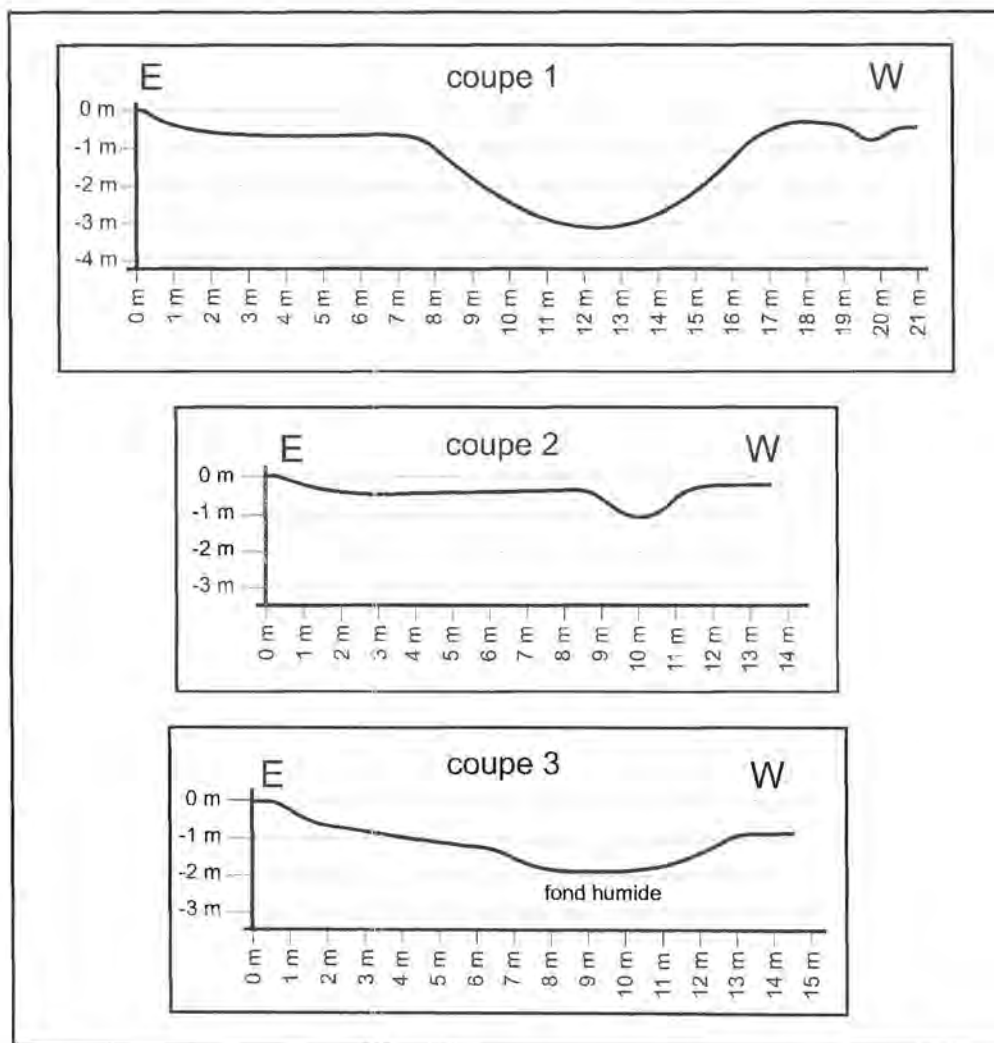


Figure 61: Coupes transversales du fossé du site Pellestack

Conclusion

Les résultats de l'étude du site Pellestack confirment ceux du site Baraque Bleue: les entonnoirs et les fossés dépendent du tracé des galeries; les crevasses sont liées aux limites des concessions.

Toutefois, les affaissements sont beaucoup plus nombreux, plus grands, plus profonds que ceux du site Baraque Bleue. En plus, les entonnoirs voisins sont entrés plus souvent en coalescence. Les autres facteurs étant sensiblement égaux aux deux endroits, il faut attribuer les différences des formes d'affaissements à l'inégalité du défilage dans l'une et dans l'autre concession.

Les entonnoirs-mares sont plus nombreux que sur le site Baraque Bleue parce que le site Pellestack se trouve sur la partie du plateau où la couche latéritique de couverture est continue et où les poches de fer fort sont plus nombreuses.

3.3 Les entonnoirs du site Longues Raies

3.3.1 Le site

Le site Longues Raies se trouve au nord de la ferme Roudenhaff, en territoire français (fig. 20 et 62). La frontière franco-luxembourgeoise passe à l'est du site. L'altitude moyenne du plateau est de 385 m. Du côté français, le plateau accuse une surface mollement ondulée; du côté luxembourgeois, la majeure partie du plateau a disparu à la suite de l'extraction du minerai de fer et des roches calcaires de couverture.

Le site était caractérisé, il y a une douzaine d'années encore, par un important champ d'entonnoirs qui est représenté sur la carte topographique de 1989 (fig. 62). Depuis, ces anciens entonnoirs ont été comblés et la surface du plateau a été égalisée. Des champs et des friches occupent le sommet du plateau.

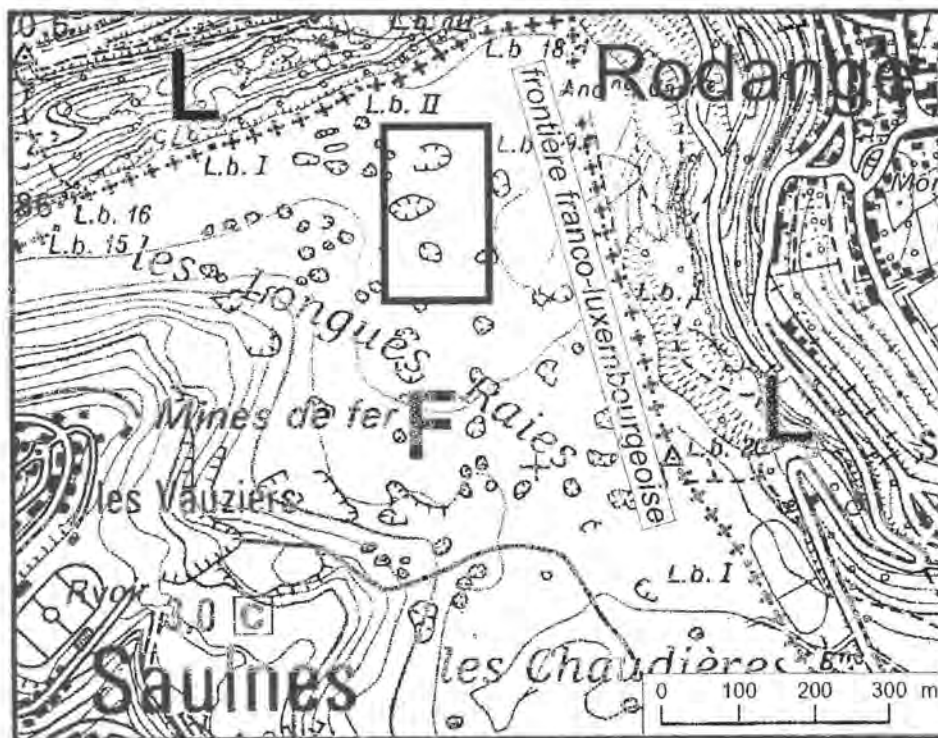


Figure 62: Le site Longues Raies (extrait de la carte topographique, 1:10 000, feuille 24B, Diffendange, édition 1989)

Sur le site Longues Raies, le recouvrement bajocien a une épaisseur de 28 m seulement (fig. 63), contre 55 m sur le site Baraque Bleue et 70 m sur le site Pellestack.

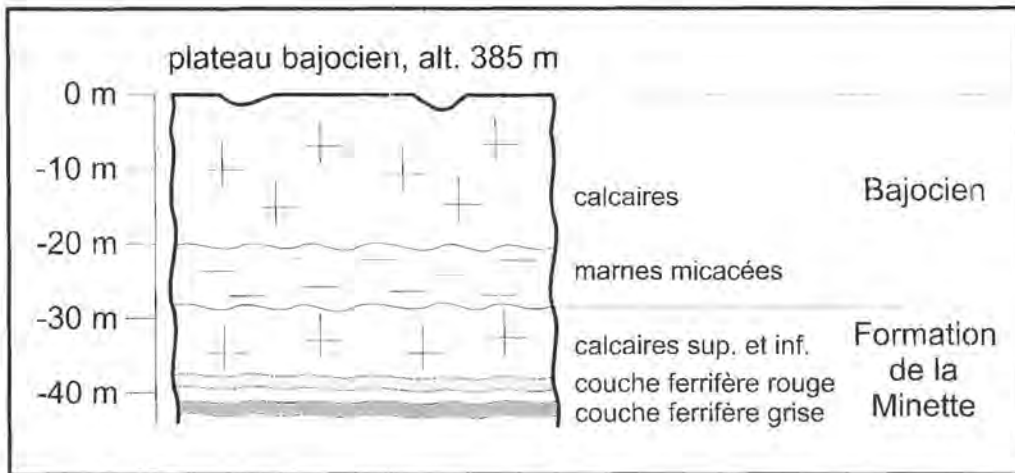


Figure 63: Les couches géologiques sur le site Longues Raies (d'après M. Lucius, 1945)

3.3.2 Les creux d'affaissement

Depuis le nivellement de la surface du plateau, une bonne demi-douzaine de nouveaux effondrements se sont produits du côté français de la frontière (fig. 64).

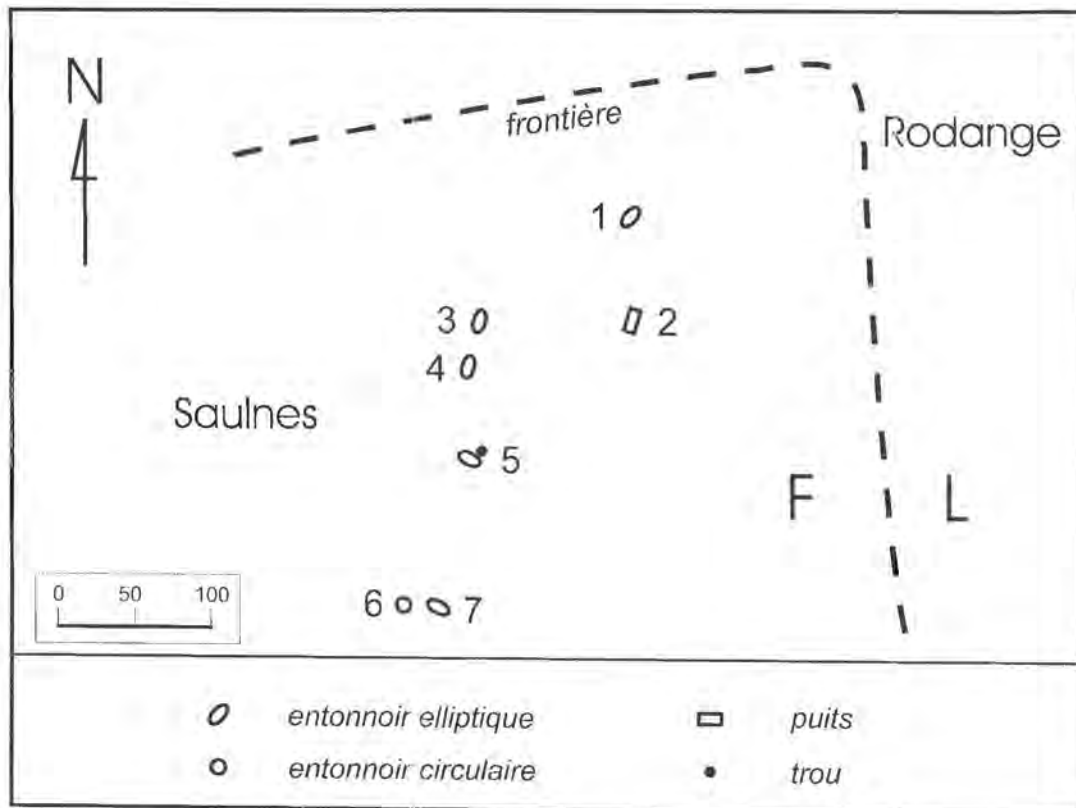


Figure 64: La localisation des creux d'affaissement du site Longues Raies

Les entonnoirs 1, 4, 5 et 6 ont été altérés à la suite de l'exploitation agricole. Leurs bords ont été affectés par le passage des machines et des blocs de calcaire ont été accumulés sur leurs fonds. Leur profondeur est faible; elle ne dépasse nulle part un mètre. Ces entonnoirs forment aujourd'hui des îlots broussailleux au milieu des terres agricoles.

Le **creux n° 2** est apparu entre l'été 1997 et l'été 1998. Il a les formes d'un puits. Son ouverture est plus ou moins triangulaire et se prolonge au-delà du sommet par une fissure qui correspond à une diaclase (fig. 65 et photo 7). Cette diaclase est parallèle aux côtés longs du puits et correspond à la direction préférentielle des fissures qui, sur le plateau de Differdange, oscille autour de la direction méridienne. L'ensemble du dispositif fait penser - par analogie avec les grottes-diaclases - à un puits-diaclases.

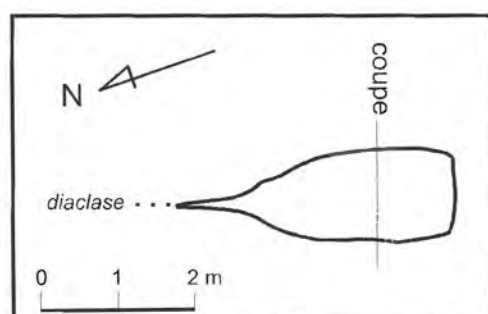


Figure 65: Le "puits-diaclases" du site Longues Raies en plan



Photo 7: Le puits du site Longues Raies (A. Storoni, janvier 2000)
La photo a été prise du SW vers le NE, à l'endroit de la coupe (fig. 65).

Les parois subverticales du puits débouchent sur une cavité qui n'a pas encore réussi à crever complètement la voûte du toit (fig. 66),

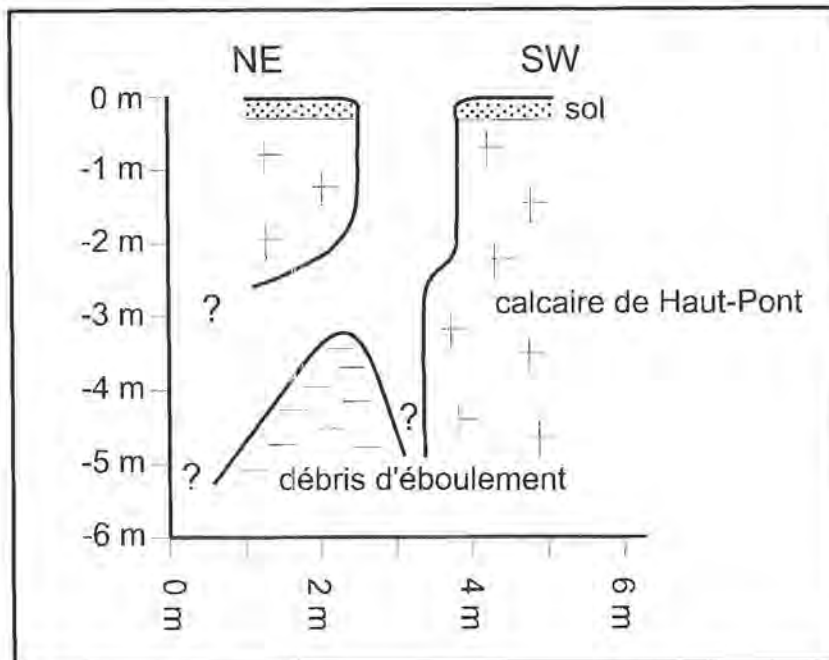


Figure 66: Coupe à travers le puits du site Longues Raies

Le **creux n° 3** existait déjà en 1997. L'état de la végétation ne permet guère d'en déterminer l'âge. Toutefois, comme ils se trouve sur la partie du plateau qui a été réhabilitée il y a une douzaine d'années à peu près, il doit être de date plus récente.

Le creux n° 3 a les formes d'un entonnoir elliptique dont le plus grand axe a une longueur de 14 m. Sa profondeur est de 5,4 m (fig. 67).

Les roches calcaires sont très fissurées à cet endroit et les pentes de l'entonnoir ont été affectées par des mouvements récents de terrain. Sur le bord nord de l'entonnoir notamment, les effets d'un glissement rotationnel sont clairement visibles (fig. 67). L'escarpement de tête, de forme concave, a une hauteur de 90 cm. Il aboutit au dos d'un bloc incliné vers l'amont, tailladé de plusieurs fissures transversales. Une partie du bloc s'est détachée à la faveur d'une telle fissure et sa face forme actuellement un abrupt en position instable. Des débris rocheux se trouvent sur toutes les pentes de l'entonnoir. A la suite du glissement, la pente septentrionale de l'entonnoir est devenue plus longue que la pente méridionale, ce qui explique la dissymétrie actuelle du profil de l'entonnoir.

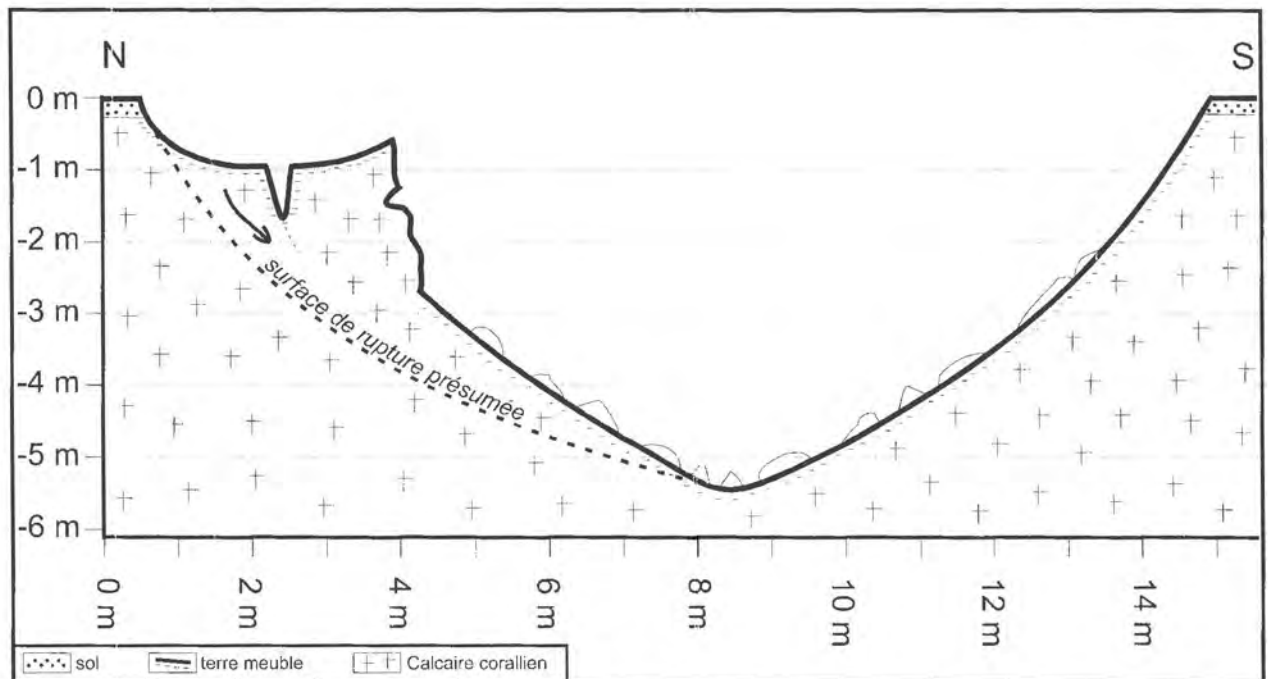


Figure 67: Glissement rotationnel sur la pente de l'entonnoir n°3 du site Longues Raies

Le **creux n° 7** est beaucoup plus petit que le creux n° 3. Il a également une forme elliptique. En 1999, des mouvements de terrain s'étaient produits sur ses pentes. Ils avaient donné naissance, sur l'un des côtés, à deux terrassettes de glissement (fig. 68, coupe b et photo 8).



Photo 8: Terrassettes de glissement sur un des versants de l'entonnoir n° 7 du site Longues Raies (A. Storoni, janvier 2000)
La photo a été prise du NE vers le SW, à l'endroit de la coupe a (fig. 68).

Entre les mois de janvier et de juillet 2000, de nouveaux glissements se sont produits. Ils ont fait disparaître la deuxième terrassette et ont adouci la pente NW de l'entonnoir. A la suite de tous ces glissements, la forme de l'entonnoir - qui a dû être subcirculaire au début - est devenue elliptique.

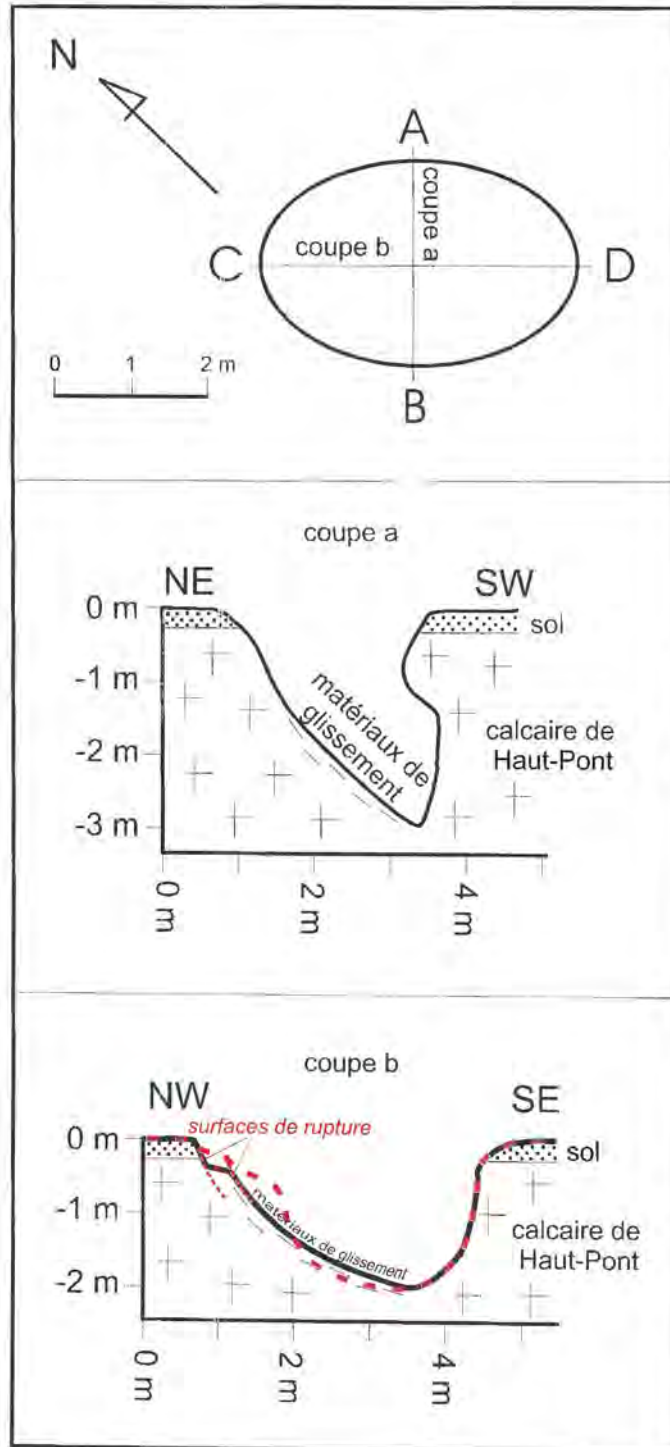


Figure 68: Plan et coupes à travers l'entonnoir n° 7 du site Longues Raies

Coupe b: en rouge, le profil transversal en janvier 2000; en noir le même profil en juillet 2000

Les creux d'affaissement 2, 3 et 7 du site Longues Raies constituent un échantillon des différents types de creux qui existaient sur cette partie du plateau avant leur colmatage dans les années 1980³³.

Il s'agissait, en partie, de puits aux parois subverticales débouchant à la surface par des orifices plus petits que les cavités sous-jacentes. Leur voûte instable finissait tôt ou tard par céder, pour donner lieu à des entonnoirs étroits et profonds ayant un plan circulaire ou elliptique. C'est probablement le sort qui sera réservé au creux n° 2 du site Longues Raies.

Ces puits annonçaient parfois leur apparition par l'élargissement d'une diaclase ou par un trou circulaire de faible dimension. Au nord de l'entonnoir n° 5 (fig. 64) se trouve un tel trou circulaire de 30 cm de diamètre. Il donne sur une cheminée étroite en forme de boyau tordu dont on n'arrive pas à sonder la profondeur au-delà de 2 m.

A côté des puits, on pouvait observer, dans le temps, également des entonnoirs de forme conique, de taille variable, semblables aux creux n°^{os} 3 et 7. Ces entonnoirs s'élargissaient peu à peu sous l'effet de glissements qui se produisaient sur leurs pentes. Les fissures de couronne qu'on observe à plusieurs endroits le long des bords actuels des entonnoirs permettent de prévoir que, à plus ou moins longue échéance, d'autres glissements viendront encore élargir leur ouverture. Ce faisant ils peuvent renforcer - ou initier - une dissymétrie des entonnoirs, surtout si les glissements se font sur une partie des versants plutôt que sur les autres. C'est probablement là une des causes qui sont à l'origine des entonnoirs à plan elliptique.

Conclusion

Les entonnoirs récemment apparus sur le site Longues Raies montrent que les formes d'affaissements que nous observons dans le bassin minier ont subi, au cours des décennies qui ont suivi leur apparition, d'importants changements. Elles tiennent aujourd'hui à la fois du mouvement vertical initial qui les a engendrées et de mouvements de masse subséquents que l'instabilité des nouvelles pentes a favorisés.

Sur le site Longues Raies, les mouvements directement observables sont surtout des glissements rotationnels. Mais, en ce qui concerne le puits, l'effondrement de la voûte restée provisoirement intacte et l'éboulement d'une partie des parois sont prévisibles.

Malheureusement, l'évolution des creux d'affaissement du plateau ne peut plus être étudiée aujourd'hui que sur un échantillon très restreint, ce qui nous empêche de relier la diversité des formes aux facteurs qui en sont responsables. Il semble cependant que la direction préférentielle des diaclases puisse jouer un rôle dans cette évolution.

³³ Nous avons nous-mêmes pu observer ces formes de creux avant leur colmatage.

3.4 Les entonnoirs-mares du site Tillebiert

3.4.1 Le site

Le site Tillebiert occupe le sommet du plateau de Differdange, au sud d'un chemin agricole qui rejoint la route C.R. 176a reliant Lasauvage à Niederkorn (fig. 21 et 69). Il se trouve à proximité de la ligne de faite qui traverse le plateau du SE au NW. Son altitude est d'environ 415 m.

Le site est occupé, au sud du chemin agricole, par des broussailles plus ou moins impénétrables qui donnent sur un bois d'épicéas. Au nord, les creux d'affaissement sont cachés dans une forêt de hêtres, au milieu de laquelle se trouve un pré. A l'ouest, le site débouche sur des champs.

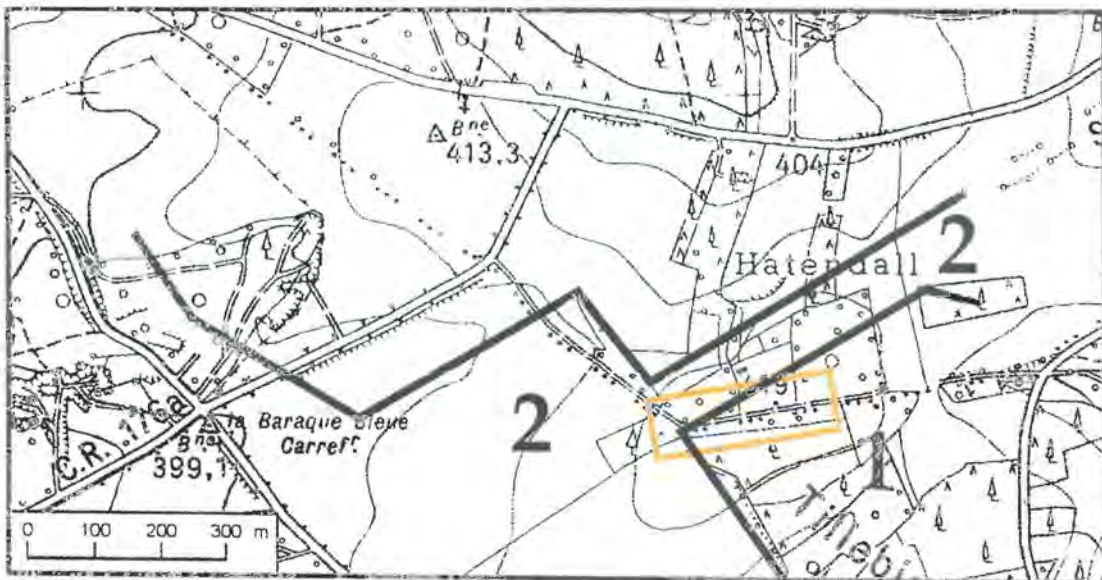


Figure 69: Le site Tillebiert (extrait de la carte topographique, 1:10 000, feuille 24D, Differdange).

En rouge, les limites du site; en noir, les limites des concessions minières: 1= Tillebiert, 2 = Tillebiert-Extension

Les conditions lithologiques sont semblables à celles du site Baraque Bleue, mais le recouvrement bajocien et aalénien atteint ici une épaisseur de 80 m contre 65 m environ sur le site Baraque Bleue (M. Lucius, 1945).

Le site se trouve à cheval sur la limite entre les concessions Tillebiert et Tillebiert-Extension.

3.4.2 Les entonnoirs-mares

Dans la hêtraie, au nord du chemin agricole on rencontre des crevasses et des entonnoirs semblables à ceux des sites Baraque Bleue et Pellestack (fig. 70). La profondeur des entonnoirs est de l'ordre de deux mètres. Une partie des entonnoirs est occupée par des mares. Vers le nord-est, les entonnoirs-mares sont plus nombreux, vers le nord-ouest leur présence diminue, puis elle augmente de nouveau fortement aux abords du chemin agricole. A proximité immédiate du chemin, on ne rencontre plus que des entonnoirs-mares. Leurs eaux deviennent jaunâtres par temps de pluie.

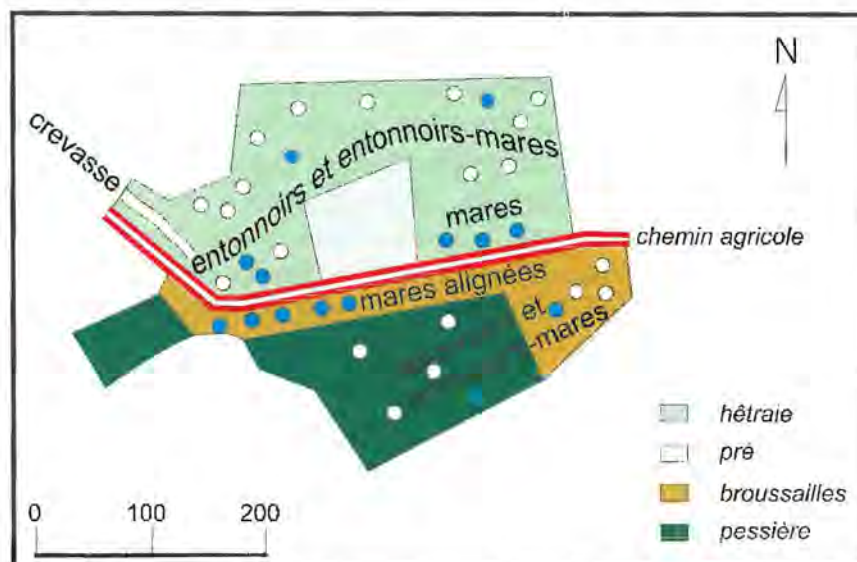


Figure 70: La répartition schématique des entonnoirs, des entonnoirs-mares, des mares et d'une crevasse sur le site Tillebierg

A l'est du pré, on rencontre des entonnoirs-mares d'une autre nature. Ici le profil des creux est sensiblement plus évasé et les bords sont peu escarpés. Ces creux peuvent atteindre également une profondeur de 2 m. Par temps pluvieux, l'eau remplit ces creux à ras bords.

Au sud du chemin agricole, une dizaine de mares sont alignées sur celui-ci. Elles sont inscrites dans une dépression très irrégulière, au fond bosselé. Les creux qui hébergent les mares ont des bords peu marqués. Ces mares gardent leur eau pendant la plus grande partie de l'année. Par fortes pluies, le niveau de l'eau dépasse parfois le bord des creux et occupe une partie plus grande de la dépression. Plusieurs mares peuvent alors devenir coalescentes. En août 1996 cependant, après une longue période sèche, les mares, à l'exception d'une seule, avaient perdu leur eau libre, mais leurs fonds restaient en partie boueux.

Vers le sud-ouest du chemin agricole, on retrouve de nouveau des entonnoirs typiques qui sont en partie occupés par des mares.

Comme le site Tillebiërg se trouve au milieu de l'aire occupée par la couche latéritique du fer fort, les entonnoirs-mares typiques mêlés aux entonnoirs d'affaissement secs s'expliquent de la même façon que sur les sites Baraque Bleue et Pellestack, c'est-à-dire par l'action imperméabilisante de l'argile de décalcification aux endroits où son épaisseur est suffisamment importante.

L'explication de l'origine des mares alignées est plus difficile. En effet, les creux qui hébergent les mares n'ont pas la forme caractéristique d'entonnoirs d'affaissement, tels qu'on les rencontre ailleurs sur le plateau. En plus, nulle part ailleurs sur le plateau les entonnoirs-mares sont aussi rigoureusement alignés qu'au sud du chemin agricole du site Tillebiërg (fig. 70).

Ce qui complique encore l'interprétation morphogénétique est le fait que le tracé de la dépression dans laquelle les mares sont inscrites ne peut pas être relié à la géométrie de la mine. En effet, la dépression ne correspond ni à la limite entre les deux concessions concernées ni à une galerie de roulage de la mine Tillebiërg³⁴. Au contraire, la crevasse qui se trouve au nord-ouest des mares alignées correspond - comme les crevasses des sites Baraque Bleue et Pellestack - à la limite entre les concessions Tillebiërg et Tillebiërg-Extension.

Force est donc de se rallier à l'interprétation avancée en 1945 par M. Lucius, suivant laquelle les mares sont le résultat de l'exploitation à ciel ouvert du minerai de fer fort³⁵. Cette interprétation est confortée par l'observation des matériaux constituant la couverture pédologique du plateau à cet endroit (a) et par les données historiques concernant l'exploitation du minerai de fer fort (b).

- a) L'argile de décalcification qui forme le fond des mares du Tillebiërg est la même que celle qu'on rencontre dans les entonnoirs-mares des sites Baraque Bleue et Pellestack. Toutefois, au Tillebiërg, la couche argileuse est épaisse et le matériel qui la compose est assez homogène, alors qu'ailleurs l'argile de décalcification est mélangée, en proportions variables, au sol issu des roches calcaires de surface. La prédominance de la fraction argileuse dans le sol du site Tillebiërg explique pourquoi, par temps de pluie prolongée, les eaux des mares deviennent rapidement boueuses (photo 9).

L'analyse granulométrique d'un échantillon prélevé sur le fond d'une des mares situées au sud du chemin agricole a donné - pour la fraction inférieure à 2 mm - 73% de fines et 27% de sable. La partie graveleuse de l'échantillon se composait essentiellement de grains de fer fort

³⁴ Plan d'exploitation de la couche rouge intitulé "Groupe Thillenbergr", 1:2000, 1981 (Source: Inspection du Travail et des Mines)

³⁵ M. Lucius, 1945, p. 305: "Anzeichen des Abbaus des Bohnerzes geben die flachen Senken in den Feldern oder im Walde, die man am besten auf dem westlichen Thillenbergr, besonders rechts und links vom alten Wege erkennt der über den Punkt 422 [cote 419 sur les nouvelles cartes topographiques] führt."

auxquels étaient mélangés quelques petits fragments provenant des roches calcaires. Cette granulométrie correspond à celle de la gangue argileuse du fer fort.³⁶

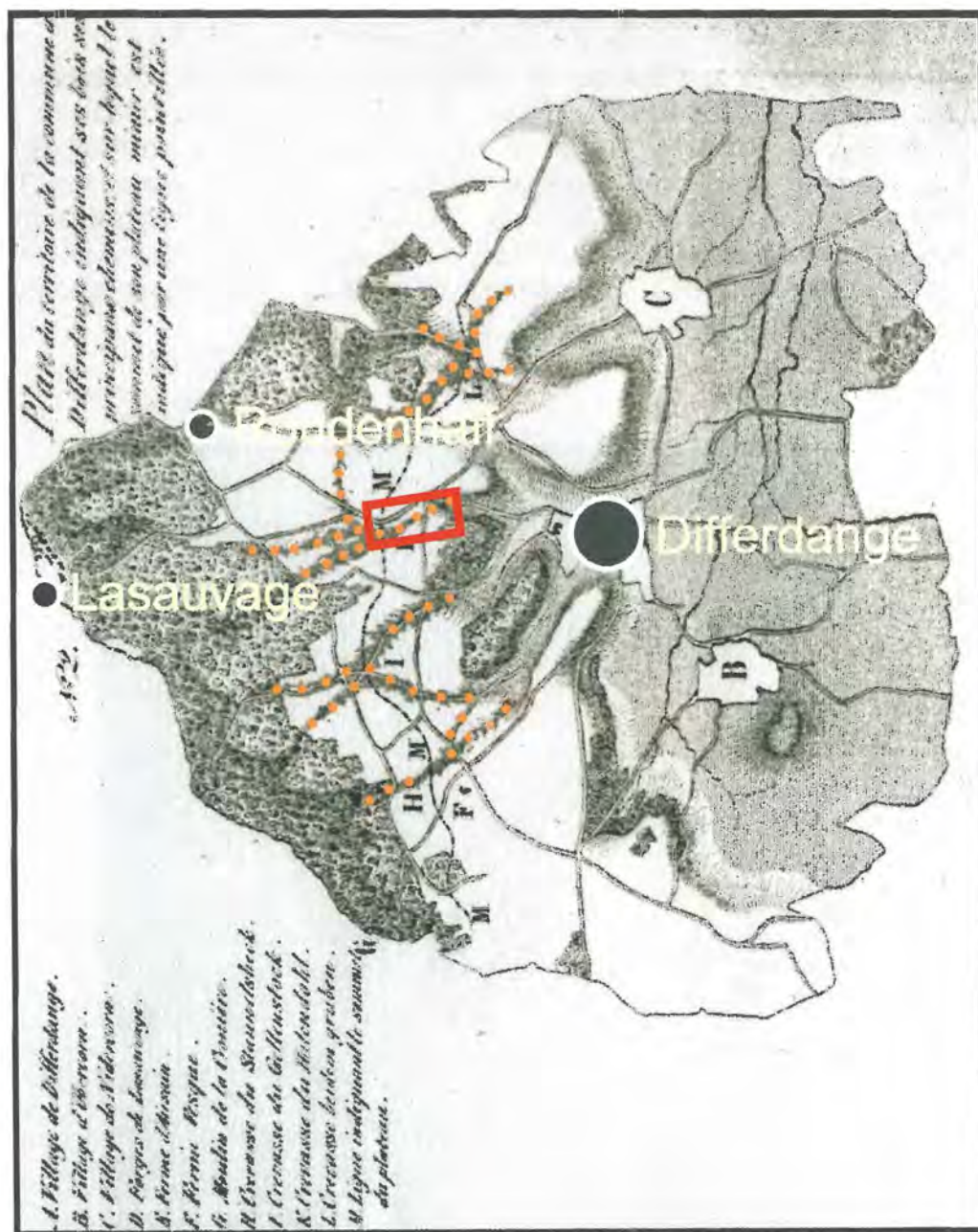


Figure 71: Les principales fosses karstiques ferrifères (anciens gisements de fer fort) du plateau de Differdange marquées par des points orange (d'après A. de Prémoré, 1855). En rouge, le site Tillebiertg

Les différences caractérisant la couverture pédologique du site Tillebiertg par rapport à celles des sites Baraque Bleue et Pellestack sont dues aux conditions inégales de dépôt de la formation du fer fort.

³⁶ D. Kaboth (1969, p. 32) donne pour deux sites du plateau de Differdange 75% de fines et 25% de sable, respectivement 64% de fines et 36% de sable.

En effet, près des entonnoirs-mares du Tillebiert s'étire une des longues fosses karstiques ferrifères qui parcourent le plateau de Differdange de part et d'autre de la ligne de faîte (fig. 71). Ces fosses peuvent atteindre une profondeur d'une vingtaine de mètres et constituaient les plus riches gisements de fer fort (Prémourel, 1855).

- b) L'exploitation à ciel ouvert du minerai de fer fort s'est poursuivie tout au long de la première moitié du 19^e siècle sur le site Tillebiert. Des concessions minières y avaient été attribuées à des particuliers par la commune de Differdange en 1810, en 1825 et encore en 1845 (A. Goergen-Jacoby, 1937, p. 76), c'est-à-dire quelques années seulement avant la fin de l'exploitation du fer fort au Luxembourg. On y trouvait en 1811 "*une minière de fer tendre [sic] d'une profondeur de 16 pieds*" (N. Kodisch, 1981, t. 2, p. 36).



Photo 9: L'argile de décalcification en suspension dans l'eau d'une mare du site Tillebiert (A. Storoni, mai 1996)

Conclusion

Une partie des entonnoirs-mares du site Tillebiertg ont la même origine que leurs homologues sur les autres sites du plateau. Mais les mares au profil évasé qui longent le chemin rural sont très probablement d'anciennes minières de fer fort. Les arguments qui plaident en faveur de cette interprétation sont, d'un côté, de nature morphologique: les entonnoirs-mares sont inscrits dans une dépression et n'ont pas les mêmes formes que les véritables creux d'affaissement. D'un autre côté, ni la dépression ni le strict alignement des entonnoirs-mares ne peuvent être reliés à la géométrie de la mine. Finalement la localisation des entonnoirs-mares coïncide avec un des plus riches gisements de fer fort du plateau.

Dans la zone de contact entre les deux ensembles formés, l'un par les entonnoirs d'affaissement et l'autre par les mares, il est difficile de se prononcer sur le rôle respectif des deux types d'exploitation.

Il est probable que, dans une région où plusieurs types d'exploitation (carrières de roches calcaires, minières de fer fort, mines souterraines de minerai de fer oolithique) ont laissé leurs traces, des formes de relief d'origines diverses puissent cohabiter. Comme il s'agit souvent de creux anciens dont les formes ont pu être changées par les mouvements naturels de terrain ou par l'intervention de l'homme, il est difficile de faire la part des choses. Dans d'autres cas qui seront étudiés plus loin, les formes actuelles du relief trahissent parfois plus directement les origines des creux (chapitre 3.5 - site Origerbësch); ailleurs ce sont des documents historiques qui permettent de conclure avec plus de certitude (chapitre 4.3 - site Grand Bois).

3.5 Les entonnoirs du site Origerbësch

3.5.1 Le site

Le site Origerbësch se trouve sur le plateau d'Esch-Rumelange, à proximité de la frontière française (fig. 26 et 72). L'altitude du site est d'environ 425 m. Il est occupé par une forêt d'épicéas, elle-même enclavée dans la hêtraie qui couvre partout le plateau.

Le site se trouve au milieu de la concession Origerbësch. Le Calcaire corallien (dom4) affleure sur le plateau.

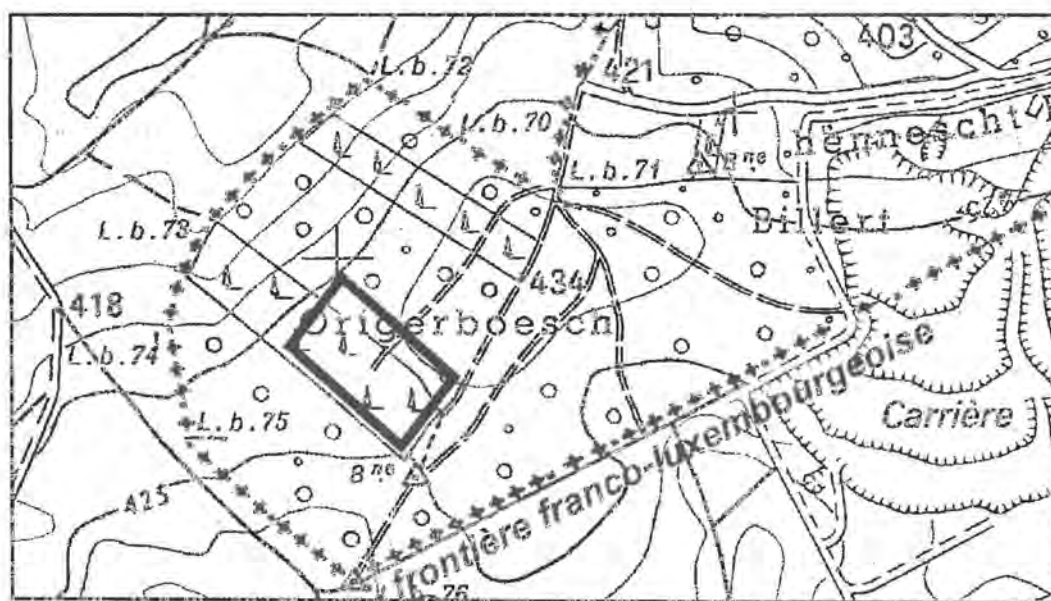


Figure 72: Le site Origerbësch (extrait de la carte topographique 1:10 000, feuille 28 C, Esch-sur-Alzette)

3.5.2 Les entonnoirs

Dans la forêt d'épicéas se trouvent quelque vingt entonnoirs de taille moyenne. Dix de ces entonnoirs, qui forment un groupe plus ramassé, ont été étudiés en détail (tab. 4 et fig. 73). Tous les entonnoirs ont un plan circulaire dont le diamètre peut varier de 3 à 8 m, mais qui est le plus souvent voisin de 5 m. La profondeur des entonnoirs oscille, dans la plupart des cas, autour d'un mètre. Les remblais qui accompagnent les entonnoirs sont tantôt plus larges et moins élevés, tantôt moins larges mais plus redressés.

Les entonnoirs du site qui n'ont pas été analysés présentent les mêmes caractéristiques.

creux n°	diamètre	profondeur	hauteur remblai
1	5,5 m	1,4 m	1 m
2	4,5 m	0,9 m	0,3 m
3	4 m	0,6 m	0,3 m
4	3 m	0,6 m	0,9 m
5	6 m	1,2 m	0,9 m
6	8 m	0,9 m	1,9 m
7	4,5 m	0,8 m	0,5 m
8	4,5 m	0,9 m	0,6 m
9	4,5 m	1,1 m	0,2 m
10	5 m	1 m	0,4 m

Tableau 4 : Les entonnoirs du site Origerbësch

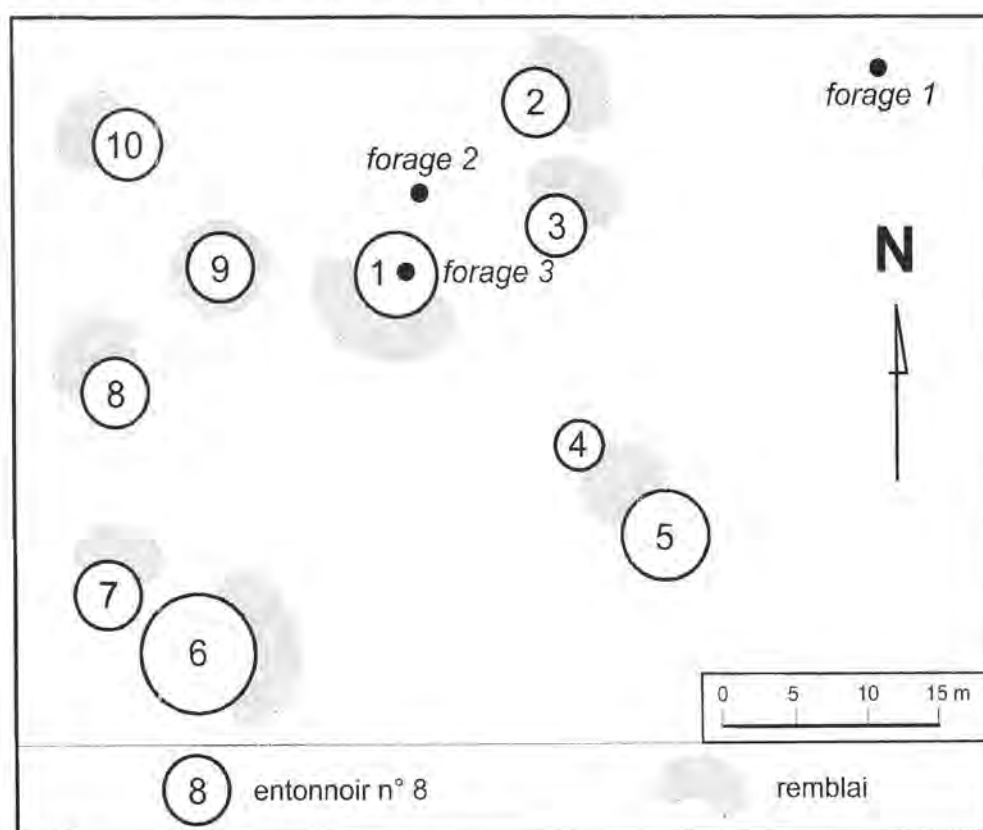


Figure 73: La répartition des entonnoirs du site Origerbësch

Les formes des entonnoirs proprement dits ne se distinguent en rien de celles des autres entonnoirs de plateau. Cependant la présence systématique d'un remblai sur leurs bords ne peut pas s'expliquer par des mouvements naturels de terrain. En outre, tous les entonnoirs du site sont secs, alors que, sur les remblais comme sur les pentes des entonnoirs, on peut observer partout la formation latéritique du fer fort. Ailleurs sur le plateau, les entonnoirs dont les pentes sont constituées en partie d'argile de décalcification hébergent en général une mare ou ont un fond humide.

Toutes les observations portent à croire qu'on est en présence, sur ce site, non pas d'entonnoirs d'affaissement, mais d'anciennes minières de fer fort du milieu du 19^e siècle³⁷. En effet:

- a) L'important gisement de fer fort d'Aumetz mord ici sur le territoire luxembourgeois et s'étend, le long de la frontière, sur une partie du plateau d'Esch-Rumelange³⁸.
- b) Le matériel des remblais (photo 11) est tantôt sablo-argileux, tantôt argileux. La couleur, la granulométrie et la présence d'un nombre non négligeable de nodules et de quelques fragments de roche calcaire, montrent qu'il s'agit d'argile de décalcification mélangée au régo-lite issu des calcaires coralliens.
- c) En gros, on peut dire que le volume de chaque remblai, tout en étant plus petit que le volume de l'entonnoir, est néanmoins fonction de celui-ci. Il s'agit donc vraisemblablement de la terre meuble rejetée de la minière au cours de l'extraction du minerai de fer fort.
- d) Des forages à la tarière (fig. 73) effectués à une quinzaine de mètres de l'entonnoir n° 2 (forage 1), entre les entonnoirs n°s 1, 2 et 3 (forage 2) et au fond de l'entonnoir n° 1 (forage 3), permettent de conclure que les entonnoirs du site correspondent à des poches de fer fort qui s'inscrivent dans le Calcaire corallien.

Comme le niveau d'affleurement du calcaire au droit du forage n° 2 se trouve à moins 90 cm et que la profondeur actuelle de l'entonnoir est de 1, 40 m, cet entonnoir doit correspondre à une poche de fer fort.

forage n° 1

0 - 70 cm	sédiments sablo-argileux (vers 70 cm, un nodule de fer fort)
70 - 115 cm	sédiments argileux
à 115 cm	roche calcaire

forage n° 2

0 - 70 cm	sédiments sablo-argileux
70 - 90 cm	sédiments argileux
à 90 cm	roche calcaire

³⁷ Au Luxembourg, l'exploitation du fer fort s'est arrêtée dans les années 1860 (C. Clément 1864, p. 92)

³⁸ Cette formation, qui est représentée sur la carte géologique luxembourgeoise de 1947, n'est plus figurée sur celle de 1988, mais sa présence est néanmoins indubitable et peut être observée directement à plusieurs endroits du plateau.

forage n° 3

0 - 20 cm	sédiments argileux
à 20 cm	roche calcaire

e) L'absence d'eau au fond des entonnoirs s'explique par le fait que la poche ferrifère a été vidée en grande partie. Les eaux atmosphériques peuvent facilement traverser les restes de la formation qui se trouvent au fond et disparaître à travers les diaclases des roches calcaires sous-jacentes. Dans le cas d'un affaissement, au contraire, l'argile de décalcification reste sur place et glisse dans l'entonnoir au moment où celui-ci se forme, en imperméabilisant le fond et, le cas échéant, une partie plus ou moins importante des pentes.

D'ailleurs, sur les remblais, où l'argile de décalcification a été accumulée, on retrouve de petites mares dès qu'une dépression se forme, comme, par exemple, sur le remblai de l'entonnoir n° 1, à l'endroit où les sangliers ont l'habitude de venir se vautrer dans la boue (fig. 74, coupe 1 et photo 11).

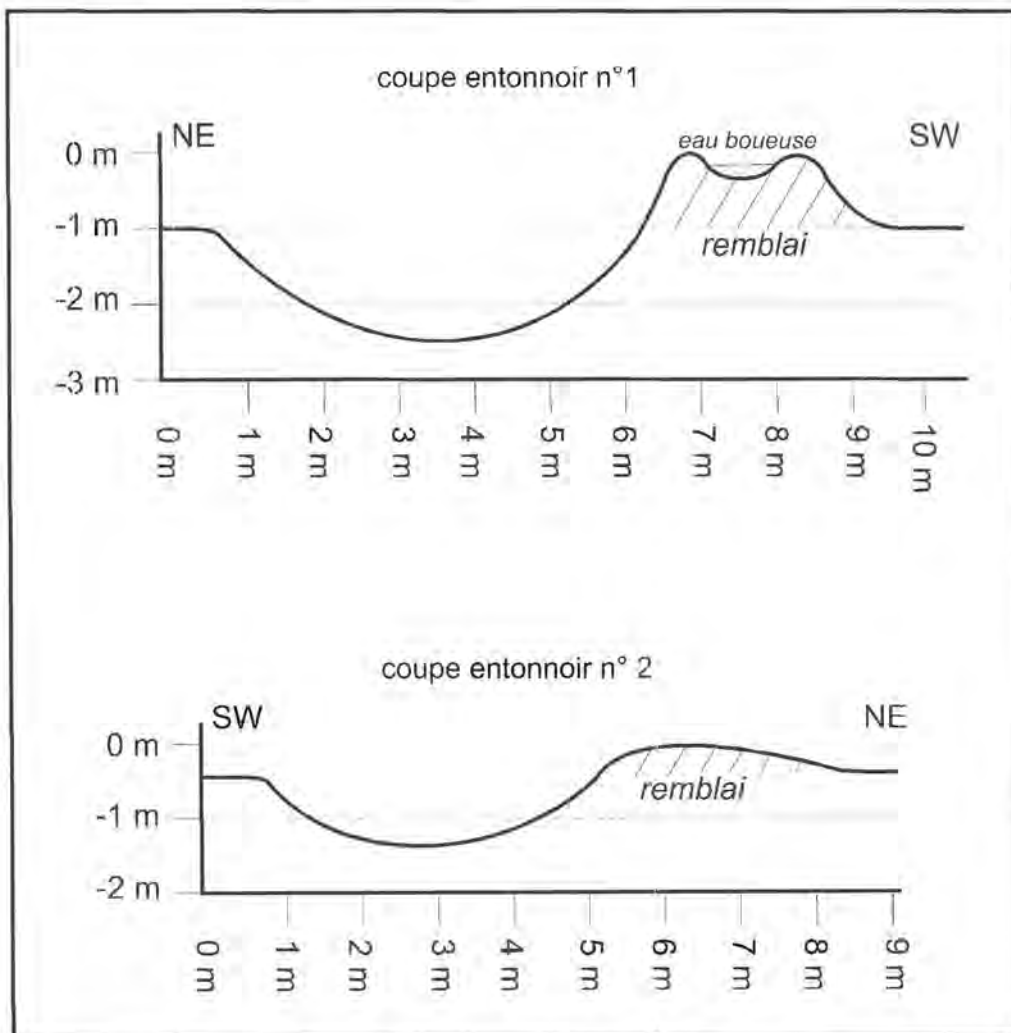


Figure 74: Coupes à travers deux entonnoirs du site Origerbësch



Photo 10: L'entonnoir n° 1 du site Origerbësch (A. Storoni, mai 2000)



Photo 11: Le remblai de l'entonnoir n° 1 du site Origerbësch (A. Storoni, mai 2000)

Conclusion

Les entonnoirs du site Origerbësch sont d'anciennes minières de fer fort.

C'est la présence systématique d'un remblai, constitué en majeure partie de l'argile de la formation latéritique, sur les bords des entonnoirs et la coïncidence des creux avec les poches de minerai de fer fort qui permettent de distinguer les minières des entonnoirs d'affaissement.

L'absence d'eau stagnante dans les minières peut également être considérée comme un argument en faveur de cette interprétation, même si sur le site Tillebiërg (chap. 3.4), c'est la permanence de l'eau qui a été invoquée pour faire la distinction entre les deux types d'entonnoirs. En effet, sur le site Tillebiërg, la formation latéritique remplissait une fosse karstique profonde qui ne pouvait pas être totalement vidée à cause des incursions fréquentes d'eau dans les minières, alors que sur le site Origerbësch, les poches remplies d'argiles étaient petites et, une fois vidées, ne pouvaient plus retenir les eaux atmosphériques.

3.6 Les auges du site Koepchen

3.6.1 Le site

Le site Koepchen se trouve à l'est de la ferme Vesque, en bordure du plateau qui domine la localité d'Oberkorn (fig. 24 et fig. 75). A l'est, le site est limité par l'ancien front de taille de la mine du Rollesberg. Au nord, le site donne sur un vallon.

L'altitude moyenne du plateau est, à cet endroit, de 410 m. Le site est occupé par des champs. Entre les champs et le front de taille subsiste une bande broussailleuse de dix à vingt mètres de largeur.

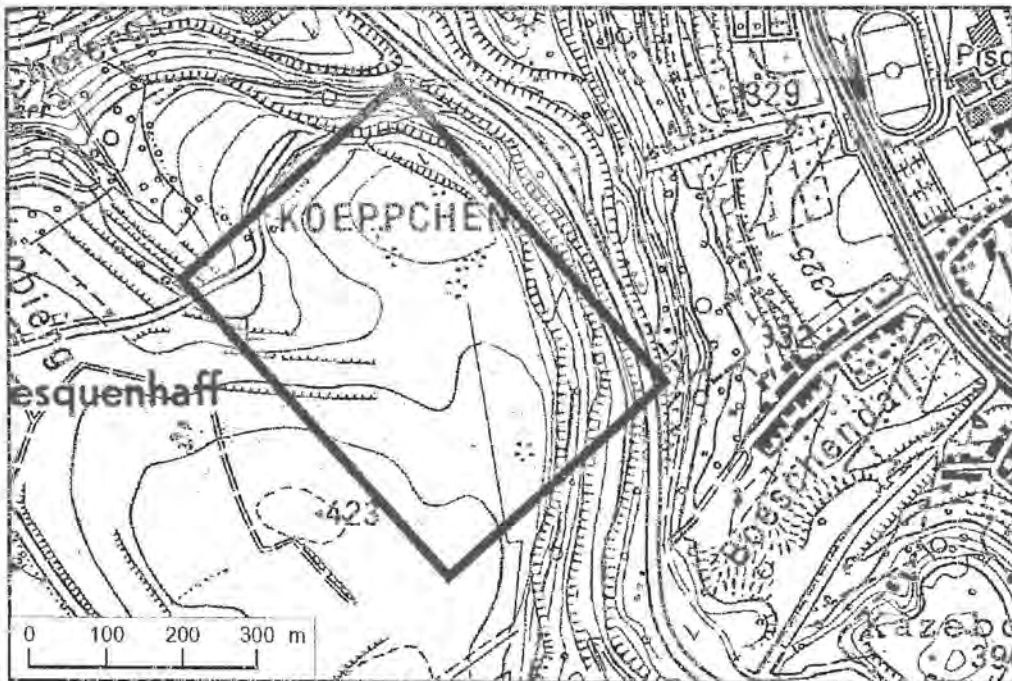


Figure 75: Le site Koepchen (extrait de la carte topographique, 1:10 000, feuille 24D, Differdange)

3.6.2 Les auges

La surface du plateau est marquée, sur une vingtaine d'hectares par un ensemble irrégulier d'auges de faible profondeur qui s'inscrivent en partie dans les ravins du terrain (photo 12). Quelques entonnoirs isolés de petite et de moyenne taille se trouvent en bordure des champs.

La trame des auges ne peut ni être attribuée à la géométrie de la mine sous-jacente ni à des limites de concessions. Elle ne tient pas non plus compte de la faille de Godbrange qui traverse le site.

Des photos aériennes de 1951 montrent que, à cette époque, de très nombreux entonnoirs se trouvaient aux endroits où on observe actuellement les auges³⁹ (fig. 76). A l'exception d'une poignée d'entre eux, ces entonnoirs ont été, en plusieurs étapes, comblés et transformés en creux aux formes adoucies qui ne gênent pas l'exploitation agricole⁴⁰. Les auges qu'on observe aujourd'hui ne sont donc pas des formes originelles d'affaissement, mais le résultat du remaniement des terrains.

Jusqu'en 1998, quelques entonnoirs isolés avaient subsisté en bordure des champs. Les plus grands d'entre eux furent comblés par la suite pour permettre l'extension du périmètre des terres agricoles.



Figure 76: Les entonnoirs du site Koeppchen sur une photo aérienne de 1951 (Source: Ministère des Travaux Publics)

Conclusion

Sur le site Koeppchen, comme sur le site Baraque Bleue, les auges sont le résultat de la réhabilitation des terrains agricoles. Si les auges du site Baraque Bleue (chap. 3.1) trahissaient encore l'orientation des crevasses et donc des limites de concessions qui en étaient responsables, les auges du

³⁹ Ministère des Travaux Publics, couverture du Luxembourg de 1951, photos 372 et 373

⁴⁰ D'après nos propres observations et les témoignages concordants d'un agriculteur et d'un habitant de l'hameau de la ferme Vesque

donc des limites de concessions qui en étaient responsables, les auges du site Koeppchen sont largement indépendantes de la trame des entonnoirs dont elles sont nées.

Comme les auges sont nombreuses sur le plateau de Differdange et qu'on ne dispose de documents photographiques que pour une petite partie des sites correspondants, il est dans de nombreux cas difficile de reconstituer, à partir du relief actuel, les formes initiales d'affaissement.



Photo 12: Les auges du site Koeppchen (A. Storoni, juillet 2000)

Chapitre 4

*Les affaissements du talus et des
replats*

4.1 Les formes associées du site Kalebierg

4.1.1 Le site

Le site Kalebierg se trouve au NW de Rumelange, sur le talus bajocien qui domine le replat de Hesselsbierg (fig. 28 et 77). Le talus s'étend entre 425 m (bordure du plateau) et 375 m (altitude moyenne du replat). La valeur de la pente varie entre 8° et 19° (tab. 5).

Le talus est couvert d'une forêt mixte à dominante de hêtres vers l'amont et d'épicéas vers l'aval.

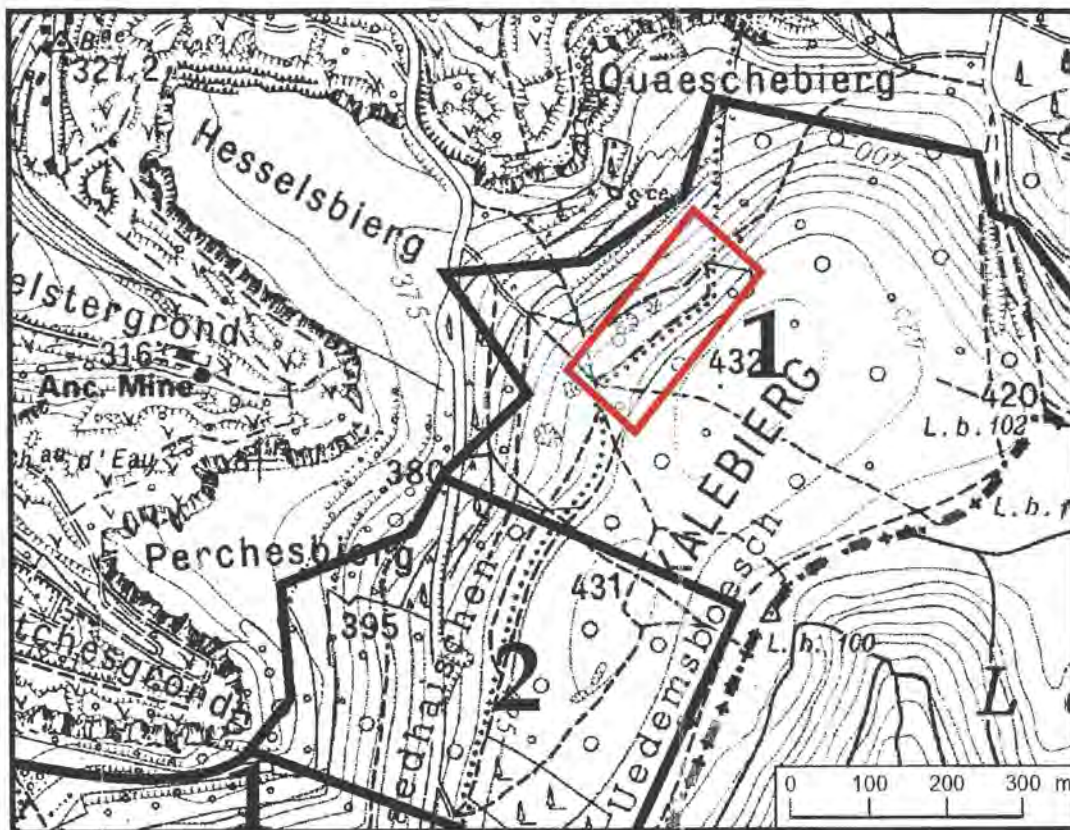


Figure 77: Le site Kalebierg (extrait de la carte topographique 1:10 000, feuille 28 C, Esch-sur-Alzette)

En rouge: le site Kalebierg; en bleu, la frontière franco-luxembourgeoise; en noir, les limites des concessions minières: 1 = Laangebiert, 2 = Kalléckfeld

Le site Kalebiert se trouve entièrement dans le domaine de la concession Laangebiert (société ARBED) qui se situe entre la frontière franco-luxembourgeoise et le domaine du concessible. Au sud du site Kalebiert, la mine Kalléckfeld (anc. société HADIR) forme une enclave dans la concession Laangebiert. Les deux parties de cette dernière sont reliées par un étroit

passage d'une quarantaine de mètres de largeur qui se faufile entre la frontière et la concession Kalléckfeld.

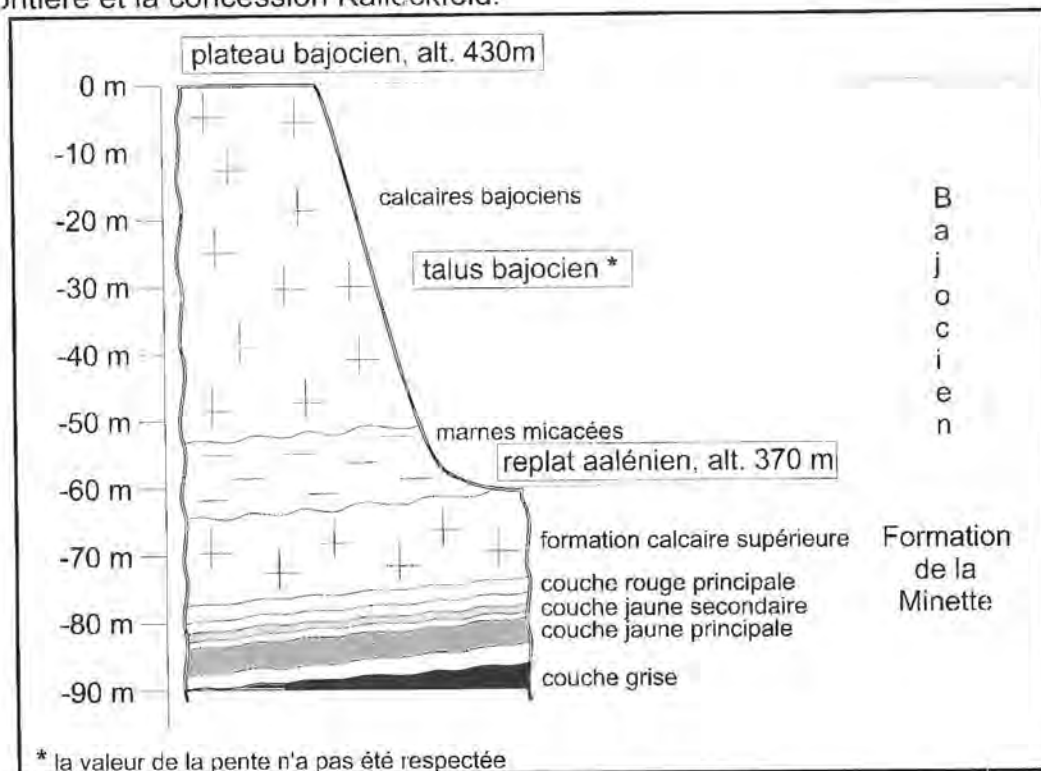


Figure 78: Les couches géologiques sur le site Kaleberg (d'après M. Lucius, 1945)

Sur le site Kaleberg se trouvent des entonnoirs et des crevasses.

4.1.2 Les entonnoirs

Six grands entonnoirs suivent approximativement la courbe de niveau de 415 m (tab. 5 et fig. 81). Vers le haut du talus se trouvent deux autres entonnoirs qui sont associés à des crevasses. Au sud-ouest du site, au-delà du chemin forestier qui mène au plateau, d'autres entonnoirs se trouvent dans le même alignement. Ces derniers n'ont pas été cartographiés.

n° entonnoir	longueur	largeur	profondeur*	pente du terrain
1	14 m	10 m	4,5 m	8°
2	16 m	13 m	5,5 m	11°
3	36 m	30 m	12 m	13°
4	24 m	20 m	7,5 m	19°
5	16 m	12,5 m	6 m	11°
6	9,5 m	8,5 m	3 m	10°
7	10,5 m	9 m	6 m	18°
8	17 m	16 m	9,5 m	12°

* par rapport à la pente initiale du talus

Tableau 5: Les entonnoirs situés sur le talus du site Kaleberg

Les entonnoirs 1 à 6 ont une forme elliptique. Leur axe longitudinal est orienté dans le sens de la pente. Le point le plus bas est situé à un tiers environ du bord inférieur et les versants qui convergent vers ce point ont des pentes assez régulières (fig. 79). Seul l'entonnoir n° 4 révèle, sur son bord supérieur, un abrupt rocheux d'environ 4 m de hauteur (fig. 80). A l'est de cet abrupt l'ouverture d'une diaclase de plusieurs mètres de longueur a provoqué le glissement d'un pan de roches. Tous ces entonnoirs sont anciens; leurs fonds sont couverts de broussailles et portent des arbres de haute taille.

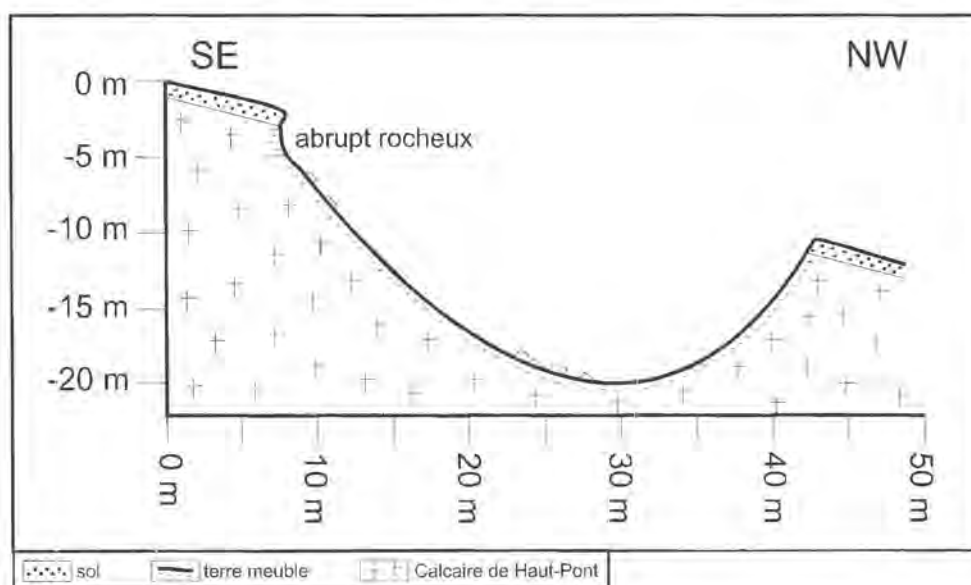


Figure 79: Coupe transversale de l'entonnoir n° 3

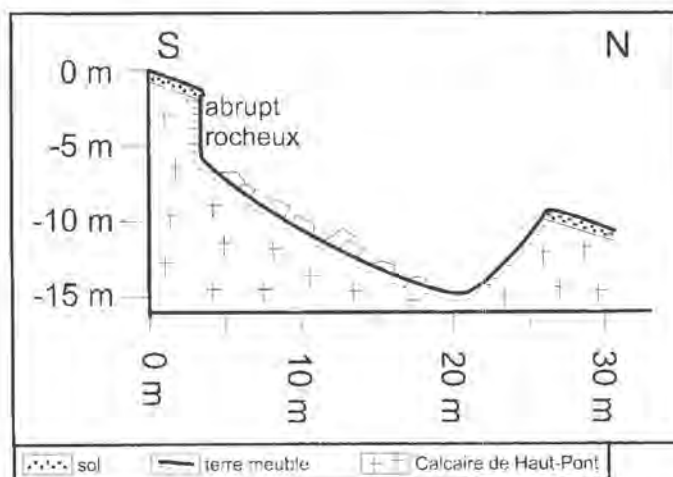


Figure 80: Coupe transversale de l'entonnoir n° 4

L'état de la végétation au fond des creux 7 et 8 montrent que ceux-ci sont apparus il y a moins de 10 ans. Seules quelques plages de mousses ont eu le temps de se développer sur de petites corniches rocheuses. Dans le creux n° 7 notamment, les formes sont vives: abrupts rocheux sur tous les côtés, cavité béante au pied de la paroi septentrionale, saillant étroit qui subsiste sur le bord oriental, encombrement du fond par de gros blocs calcaires (fig.

82 et photo 13). A l'heure actuelle, ces creux ont une forme qui ressemble davantage à un puits qu'à un véritable entonnoir.

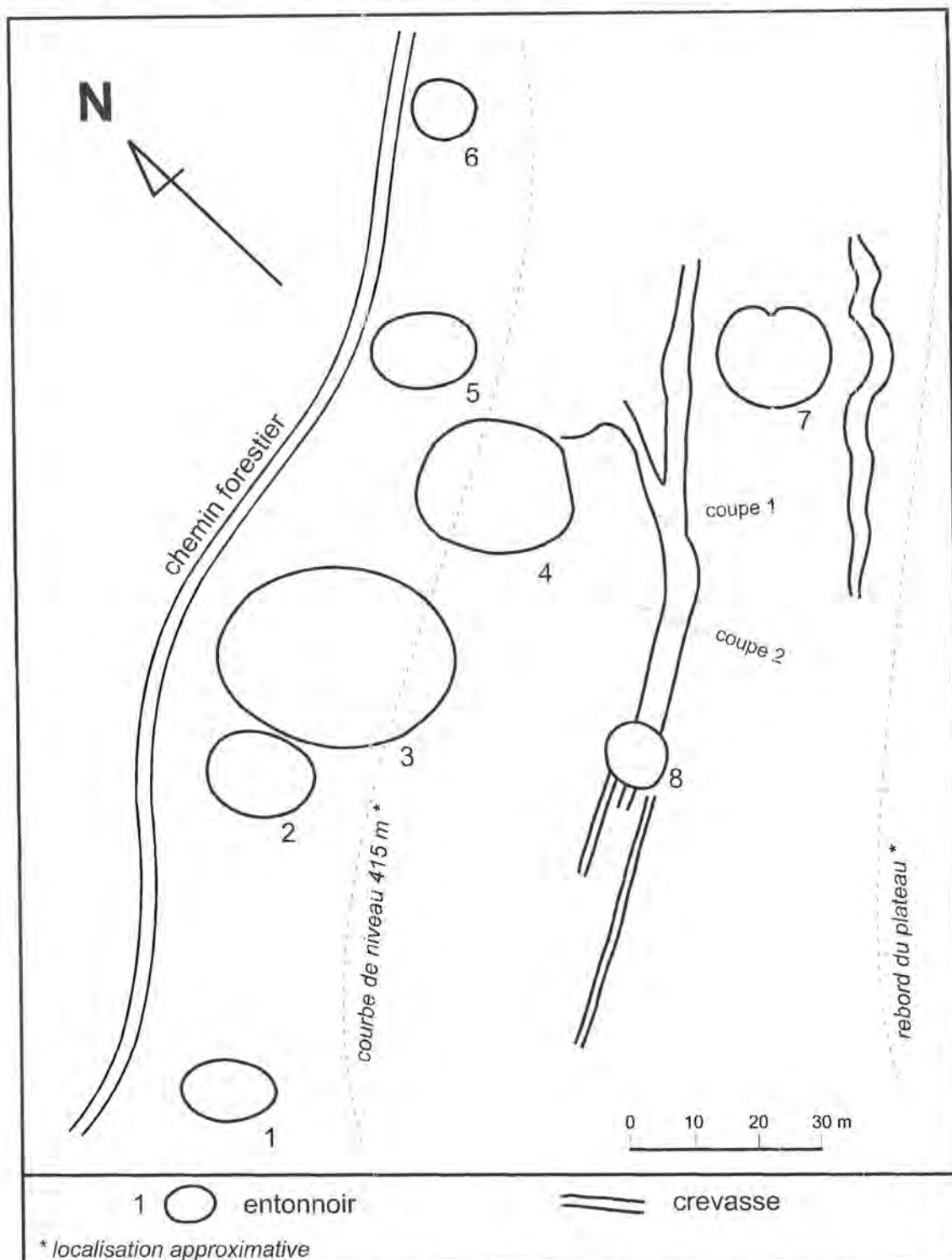


Figure 81: La localisation des affaissements du talus du site Kalebierg

L'entonnoir-puits n° 8, aux pentes subverticales, est intégré dans la trame de la crevasse. Quoique moins récent que l'entonnoir-puits n° 7, la végétation y est également peu développée.

Tous les entonnoirs du site sont secs.

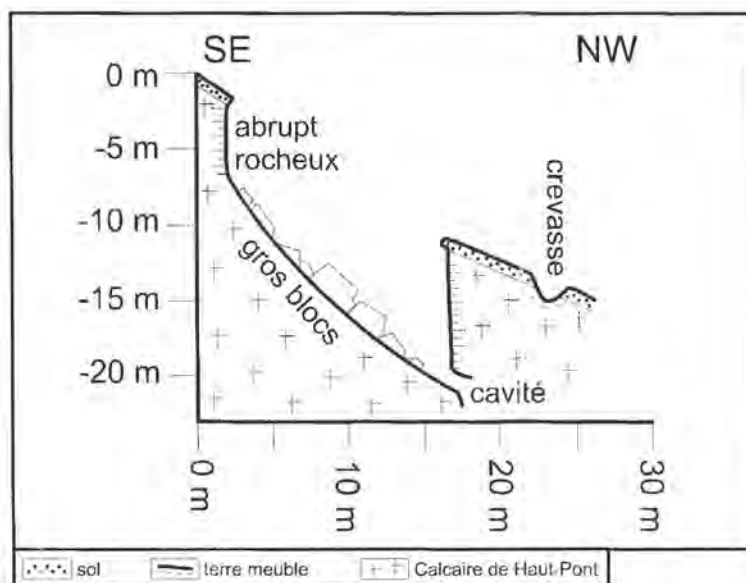


Figure 82: Coupe transversale de l'entonnoir-puits n° 7

Les entonnoirs n^{os} 1 à 6 ont un plan elliptique et un profil longitudinal dissymétrique. Toutefois les entonnoirs-puits n^{os} 7 et 8 qui sont de formation récente ont un plan circulaire et des parois subverticales alors que leur fond est également plus ou moins parallèle à la surface du talus.

Les entonnoirs du bas du talus avaient probablement, à l'origine, les mêmes formes que les entonnoirs-puits qui sont apparus récemment. C'est à la suite de l'éboulement progressif des parties supérieures des parois - dont les matériaux ont peu à peu construit des talus d'équilibre à leur pied - que les formes typiques d'entonnoirs elliptiques ont dû se développer (fig. 83).

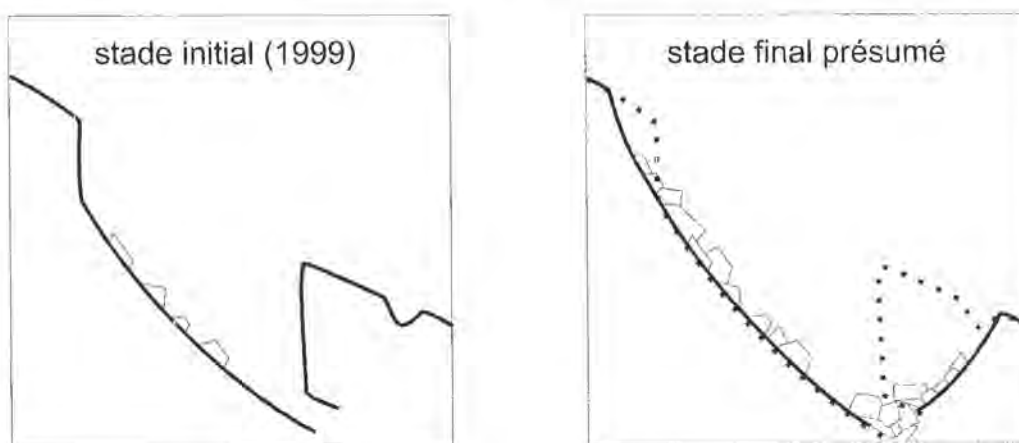


Figure 83: L'évolution présumée des entonnoirs du site Kaleberg, à l'exemple de l'entonnoir-puits n° 7

L'entonnoir n° 4, situé à mi-pente, a des formes qui tiennent à la fois des entonnoirs du bas du talus et des entonnoirs plus récents du sommet. L'âge des arbres qui poussent au fond montre que l'entonnoir n° 4 est bien plus jeune que les entonnoirs du bas du talus. On peut le considérer comme un

chaînon intermédiaire où apparaissent à la fois, en amont, les processus et, en aval, leurs résultats.

Au cours de l'hiver 1999-2000, l'entonnoir n° 7 a continué à évoluer vers ce stade intermédiaire. Un hêtre s'est abattu sur le bord septentrional de l'entonnoir et a fait tomber, de la paroi qui surplombe la cavité, un pan de roches d'une largeur de trois mètres et d'une profondeur de deux mètres environ. En face, sur le bord méridional de l'entonnoir, un autre éboulement de même envergure a également eu lieu. La longueur de l'axe de l'entonnoir qui est orienté dans le sens de la pente s'est donc allongé de quelque 4 m, alors que l'autre axe n'a pas changé. Les blocs éboulés couvrent une partie du fond qui était encore visible en automne 1999. La cavité est restée intacte.



Photo 13: L'entonnoir-puits n° 7 du site Kaleberg (A. Storoni, septembre 1999)

La partie supérieure de la paroi rocheuse est actuellement en surplomb au-dessus d'une cavité qui n'est pas une galerie, mais qui résulte en réalité d'un effondrement qui ne s'est pas encore propagé jusqu'à la surface

4.1.3 Les crevasses

Un réseau de crevasses suit le bord supérieur du talus du site Kaleberg (fig. 81). Les mieux développées de ces crevasses se trouvent à hauteur des entonnoirs-puits 7 et 8. En amont, là où le talus rejoint progressivement la surface du plateau, un chevelu irrégulier de crevasses prend la relève.

La crevasse principale a une longueur totale de 120 m (fig. 81). Vers l'est, elle se divise en deux branches dont l'une s'évase bientôt pour former une dépression peu profonde qui rejoint le bord de l'entonnoir-puits n° 7. Au-delà de l'entonnoir-puits n° 8, la crevasse se divise en trois bras parallèles. La crevasse septentrionale disparaît après quinze mètres, celle du milieu après trois mètres seulement. La plus longue se poursuit encore sur une bonne quarantaine de mètres.

Le profil transversal de la crevasse principale a, par endroits, une forme assez régulière avec des pentes plus ou moins équilibrées (fig. 84, coupe 1). Ici, le glissement du régo-lite a déjà adouci en grande partie les bords de la crevasse. Ailleurs la crevasse présente un profil plus irrégulier avec des arêtes vives et des parois rocheuses nues (fig. 84, coupe 2). La profondeur de la crevasse est en général de 1 à 2 m. Parfois des "hauts-fonds" interrompent la crevasse sur une courte distance.

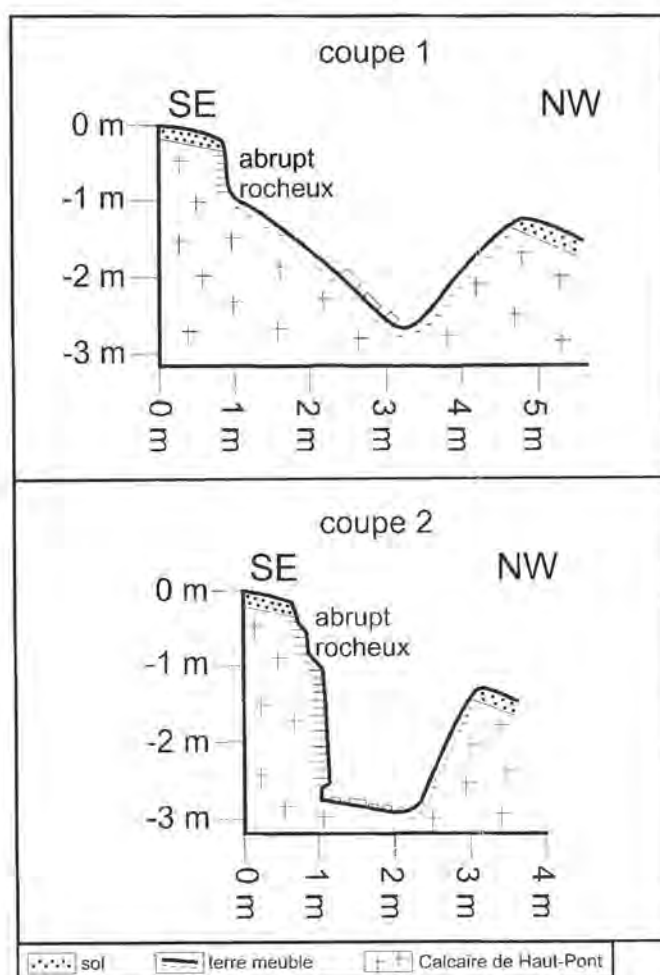


Figure 84: Coupes transversales de la crevasse principale du site Kaleberg

Au droit de l'entonnoir-puits n° 8, la fraîcheur des formes permet d'observer directement l'influence de la pente topographique sur la formation des crevasses (fig. 85 et photo 14), même si les formes et l'ampleur des cavités correspondantes sont quelque peu faussées du fait que les crevasses

s'ouvrent - latéralement - sur un entonnoir, ce qui a fait s'y déverser une partie des roches formant les bords souterrains des crevasses.

Sur le bord occidental de l'entonnoir, les bancs rocheux ont subi l'appel au vide et accusent une inclinaison sensible dans le sens de la pente, c.-à-d. vers le nord-ouest, alors que le pendage naturel des couches à cet endroit est de $3,5^\circ$ en direction du sud-est. Ce faisant, ils ont provoqué l'apparition de crevasses et de fissures aux endroits où s'est produite la rupture de tête des blocs qui ont chaviré vers l'aval. Ces crevasses ont été "bouchées" à faible profondeur par l'enchevêtrement des végétaux.



Photo 14: Crevasses apparaissant au sommet de la paroi de l'entonnoir-puits n° 8 du site Kalebiery (Photo A. Storoni, septembre 1999)

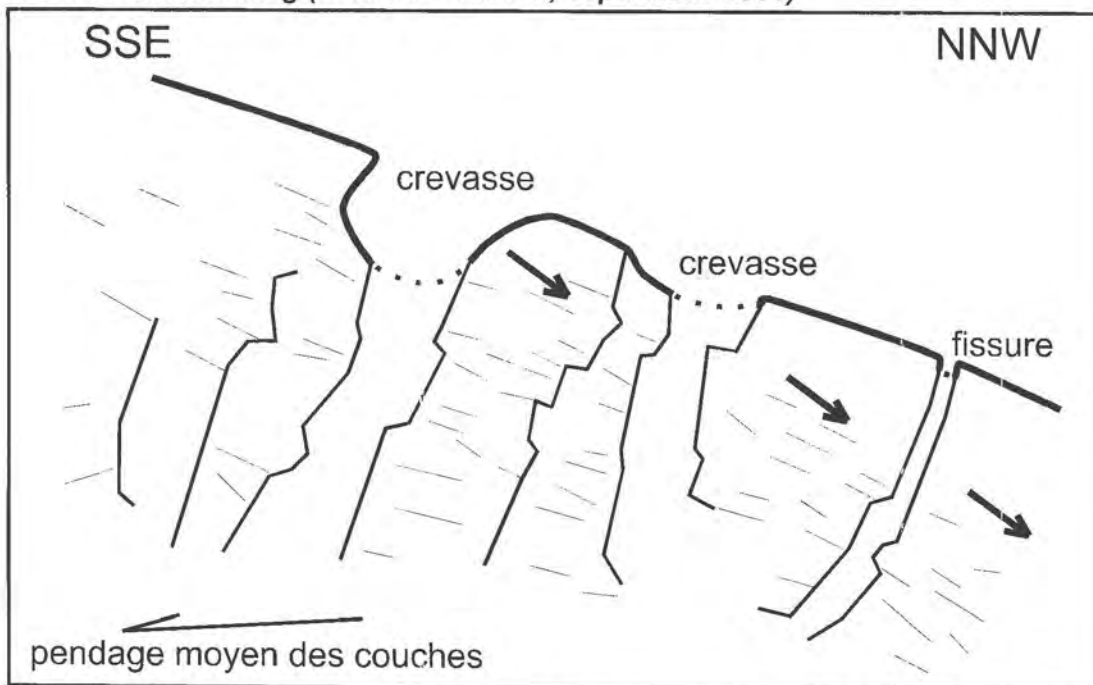


Figure 85: La tectonique de détente et l'apparition de fissures et de crevasses sur le talus du site Kalebiery (photo 14).

Conclusion

Pour être plus grands que ceux qu'on rencontre ailleurs sur le talus, les entonnoirs du site Kalebierg, avec leurs plans elliptiques et leur point le plus bas rejeté vers l'aval du talus, révèlent néanmoins les mêmes formes typiques. Mais, sur le site Kalebierg, on a la chance de pouvoir observer également des entonnoirs-puits de formation récente et de suivre leur évolution à partir de creux circulaires à parois subverticales vers les entonnoirs elliptiques aux pentes réglées.

Les crevasses apparaissent aux endroits où les roches, déséquilibrées par les effondrements du toit de la mine sise à quelque 70 m de profondeur, se détachent par pans entiers et s'inclinent dans la direction de la pente. En même temps, la détente qui s'exerce sur les pans rocheux provoque l'ouverture des diaclases qui peuvent se répercuter en surface sous forme de fissures étroites, rapidement comblées par le mouvement de débris le long du talus.

Les crevasses du site Kalebierg sont moins profondes qu'un bon nombre de celles qu'on rencontre à d'autres endroits des talus, notamment dans le bassin de Differdange. Ceci est à imputer, du moins en partie, à leur localisation vers l'amont-pendage (voir chap. 4.3 - site Grand Bois).

4.2 Les formes associées du site Tételberg

4.2.1 Le site

Le site se trouve au nord du Tételberg sur le replat des marnes micacées (fig. 21 et 86). L'altitude moyenne du replat est de 370 m, la largeur d'environ 50 m. Le replat est dominé au sud par la partie supérieure du talus bajocien qui est coiffé du rempart de l'oppidum trévirois du Tételberg. Au nord, le front de taille de l'ancienne exploitation à ciel ouvert dite "Wollefskaul" recoupe le bord du replat. L'altitude du fond de la mine est d'environ 350 m. Il en résulte un front de taille d'une vingtaine de m de hauteur. L'ensemble du site se trouve dans une forêt de hêtres auxquels sont mélangés des épicéas. Un chemin forestier asphalté suit le bord méridional du replat.

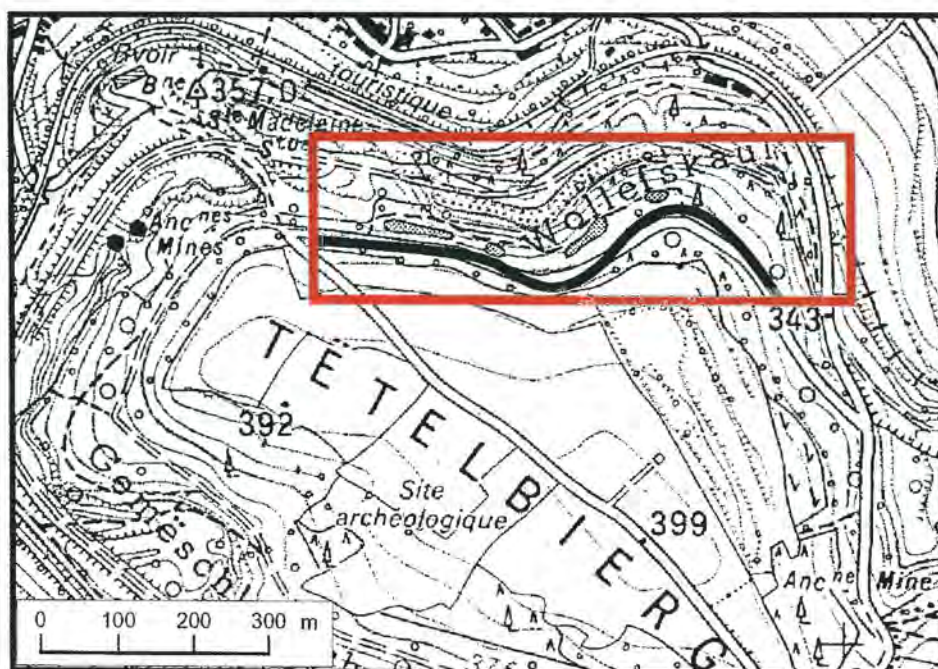


Figure 86: Le site Tételberg (extrait de la carte topographique, 1:10000, feuille 24 D, Differdange)

En rouge, le site Tételberg; en noir, la limite entre le concessible (1) et le non concessible (2).

L'ensemble du site Tételberg se trouve dans le domaine du non concessible. La limite du concessible suit à peu près le tracé du chemin forestier.

Au droit du replat, les couches de couverture sont peu développées. Elles ont une épaisseur moyenne de 12 m et se composent de 3 à 4 m de marnes micacées et de quelque 8 m de calcaires du toit de la formation ferrifère (calcaires supérieur et inférieur). L'épaisseur de la couche rouge est d'environ 2,8 m; elle est séparée de la couche grise, épaisse de 2 à 3 m, par

des couches stériles de 1 à 2 m⁴². A l'extrémité nord du Tételbiurg, les couches ont un pendage de 1 % environ en direction du NE, alors que sur le Tételbiurg proprement dit, le pendage est orienté en direction du SW.

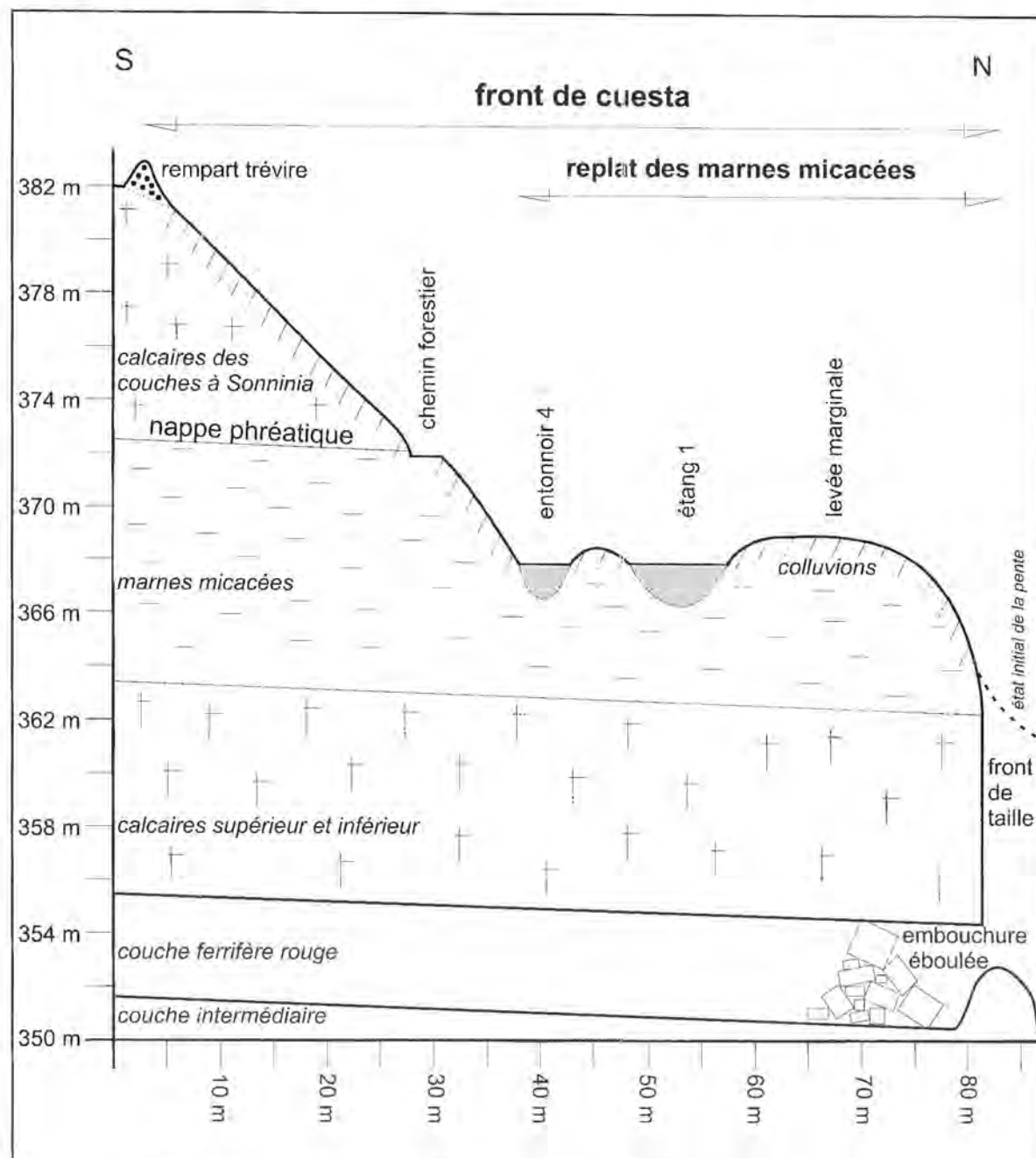


Figure 87: Les couches géologiques sur le site Tételbiurg (d'après M. Lucius, 1945)⁴³

Le site Tételbiurg regroupe un ensemble fort complexe de creux d'affaissement irréguliers qui sont partiellement emboîtés. Bien que les limites entre les différents creux soient floues et que ceux-ci passent, souvent sans véritable solution de continuité, de l'une à l'autre, on peut y distinguer plusieurs types de formes (fig. 88):

⁴² A.E.L. IM II 9, farde 70

⁴³ Pour la localisation de la coupe, voir figure 88, coupe b.

- une longue dépression qui s'étend sur la plus grande partie du replat
- des étangs qui sont inscrits dans la dépression
- des entonnoirs qui se trouvent en partie dans la dépression et en partie sur ses bords
- des crevasses qui relaient la dépression à l'est du site

A cause de l'emboîtement des formes de relief du site Tötelbiert et de l'existence d'interprétations divergentes de leur genèse, la formation des creux individuels ne sera pas traitée - comme dans les autres chapitres - à la suite de leur description, mais sera regroupée dans le chapitre 4.2.5.

4.2.2 La dépression

Une longue dépression suit, d'ouest en est, le bord sinueux du replat, sur une distance de quelque 600 m (fig. 88). La profondeur de la dépression est voisine de deux mètres sur presque toute sa longueur. Ce n'est qu'à son extrémité orientale qu'elle peut atteindre, par endroits, le double de cette valeur (fig. 96).

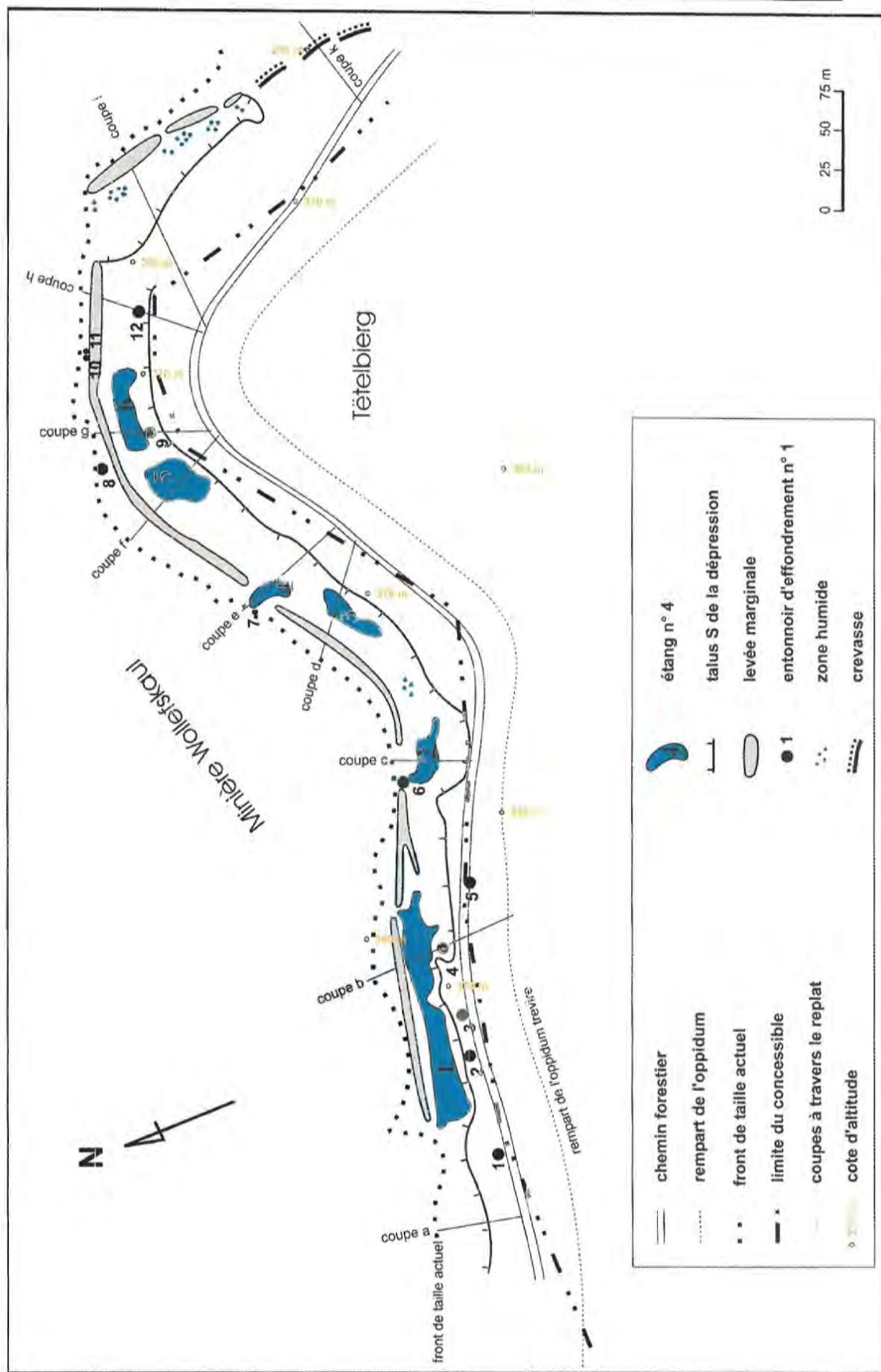
La largeur de la dépression oscille entre 10 et 20 m à l'ouest; mais elle dépasse, en moyenne, 20 m à l'est. La topographie du fond de la dépression est irrégulière et des glissements de terrain en ont parfois affecté le bord méridional. L'ampleur de la dépression est nettement plus importante que celle des étangs qui n'en occupent que les parties les plus profondes. Entre les étangs, on retrouve des fonds humides qui ne se transforment en mares peu profondes que par temps de pluie.

Au nord de la dépression se trouve une étroite levée de terrain qui correspond à la surface initiale du replat. Sa faible largeur est due au fait que cette partie de terrain se trouve prise aujourd'hui entre la dépression au sud et le front de taille de la minière Wollefskaul au nord (fig. 87 et 88).

A l'ouest, la levée marginale se trouve à une altitude de quelque 369 m; à l'est de l'étang, l'altitude dépasse le plus souvent 370 m. Sa largeur varie assez considérablement d'un endroit à l'autre. Elle n'excède que très rarement 20 m. En face des étangs 1, 2 et 4, la levée marginale est interrompue et le bord du replat est ramené pratiquement jusqu'au niveau des étangs. Des barrages de fortune, faits de rondins de bois, y ont été construits pour endiguer les eaux des étangs.

Figure 88: La localisation des affaissements au Nord du Tötelbiert⁴⁴ →

⁴⁴ Base topographique d'après un levé photogrammétrique de Schindler et Koch (1977)



Le matériau de la levée marginale est composé essentiellement de colluvions sablo-argileux auxquels sont mélangés des fragments de roche calcaire. Une coupe faite en face de l'étang no 1 montre les niveaux suivants:

369 - 367 m	colluvions sablo-argileuses, cailloux calcaires
367 - 364 m	marnes (en partie altérées)
364 -	calcaires du toit de la formation ferrifère

A l'est de l'entonnoir 12, la levée marginale disparaît sur une longueur de 25 m (fig. 95, tracé en pointillé), puis réapparaît sur une distance de quelque 80 m avant de disparaître complètement.

A l'ouest de l'étang 1, la dépression est brusquement remplacée par une pente en gradins recoupée par le front de taille (fig. 89). Vers l'Est du site, la dépression s'estompe peu à peu. Des crevasses apparaissent alors sur le bas du talus aalénien (fig. 98).

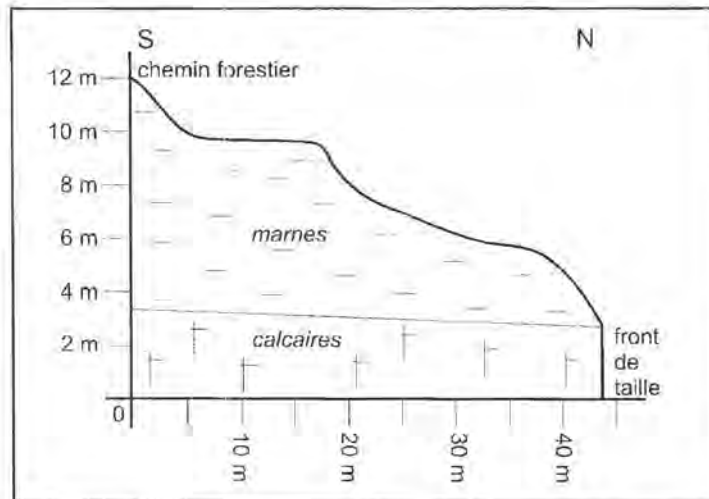


Figure 89: Le replat en gradins à l'ouest de l'étang 1 (voir fig. 88, coupe a)

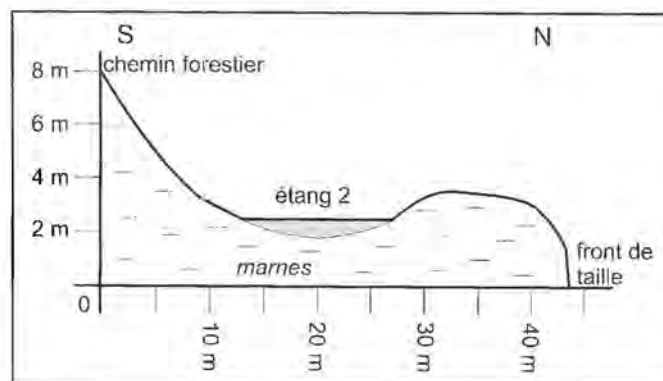


Figure 90: Coupe transversale de la dépression à hauteur de l'étang 2 (voir fig. 88, coupe c)

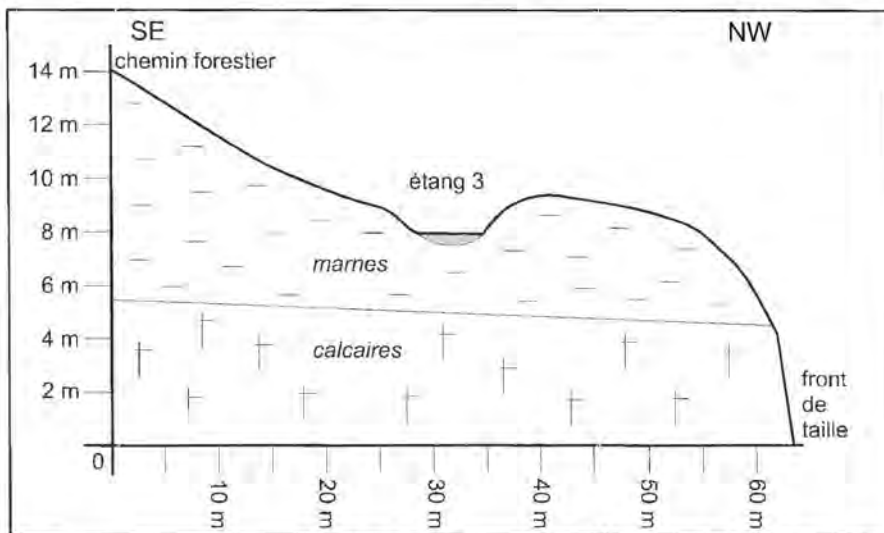


Figure 91: Coupe transversale de la dépression à hauteur de l'étang 3 (voir fig. 88, coupe d)

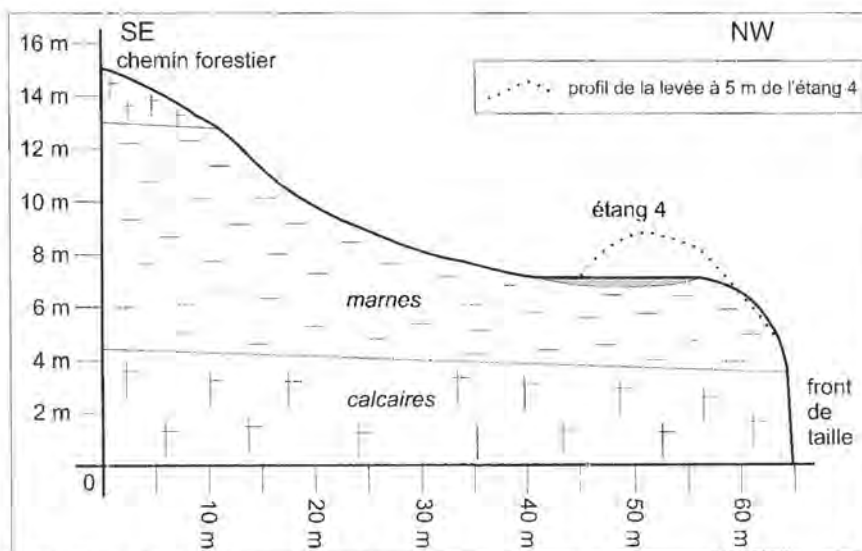


Figure 92: Coupe transversale de la dépression à hauteur de l'étang 4 (voir fig. 88, coupe e)

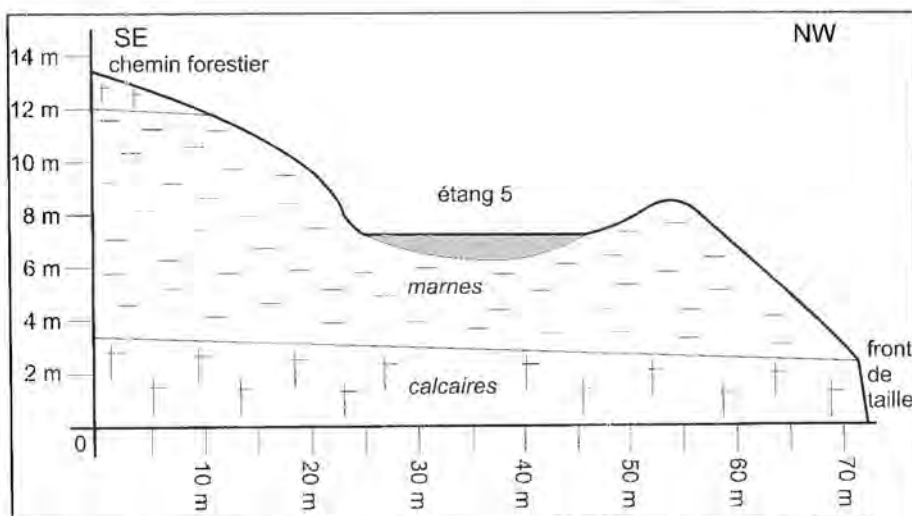


Figure 93: Coupe transversale de la dépression à hauteur de l'étang 5 (voir fig. 88, coupe f)

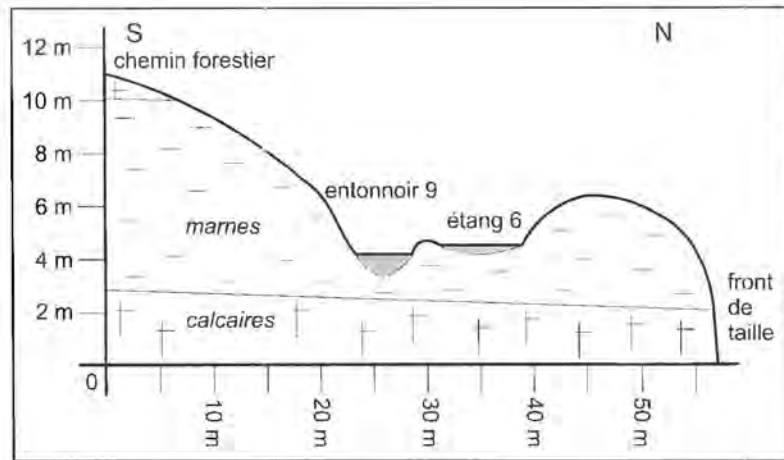


Figure 94: Coupe transversale de la dépression à hauteur de l'étang 6 (voir fig. 88, coupe g)

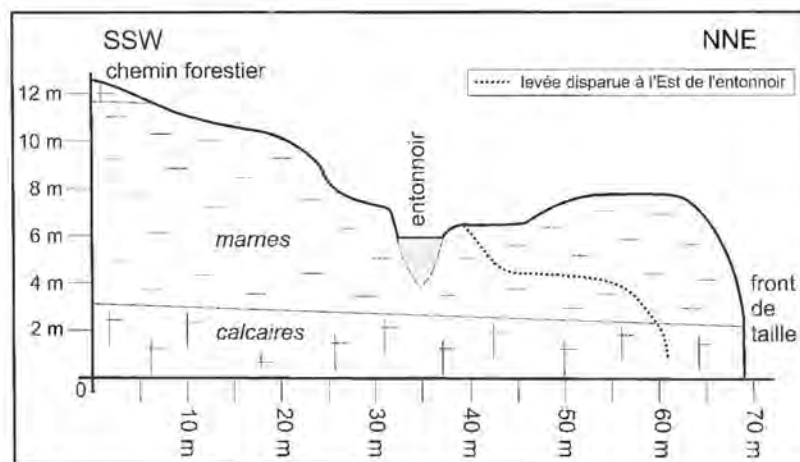


Figure 95: Coupe transversale de la dépression à hauteur de l'entonnoir 12 (voir fig. 88, coupe h)

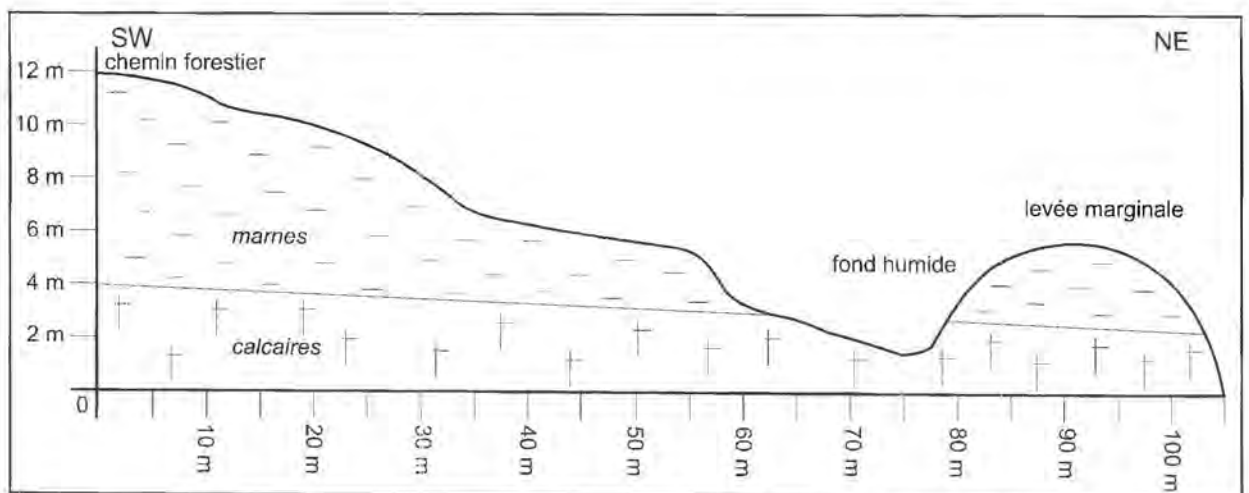


Figure 96: Coupe transversale de la dépression à l'est du site Tételbiérg (voir fig. 88, coupe i)

4.2.3 Les étangs

Six mares de taille et de forme inégales, appelés étangs du Tételbiery ou encore étangs de Lamadelaine, occupent les endroits les plus bas de la dépression. L'étang 1 dépasse 100 m en longueur, alors que l'étang 4 en atteint à peine 10 (fig. 88).

Les fonds des étangs 2, 4, 5 et 6 ont la forme d'une cuvette peu profonde; les étangs 1 et 3 ont un fond plus irrégulier (fig. 97). La profondeur maximale des étangs 2, 3, 4, 5 et 6 se situe entre 50 cm et 120 cm. L'étang 1 a un fond nettement plus accidenté avec plusieurs entonnoirs profonds et un haut-fond qui est à sec par basses eaux.

Le fond des étangs est comblé, dans la majorité des cas, de colluvions sablo-argileuses. Un sondage de 160 cm de profondeur, fait à la tarière à l'endroit le plus profond de l'étang 6, révèle la présence de petits fragments de roche calcaire jusqu'à une profondeur de 80 cm. Plus bas, les sédiments sont alternativement argileux et sablo-argileux. Le fond de l'étang 2 est tapissé de fragments grossiers provenant des couches à *Sonninia* auxquels sont mélangés dans les horizons supérieurs des morceaux d'ardoises qui

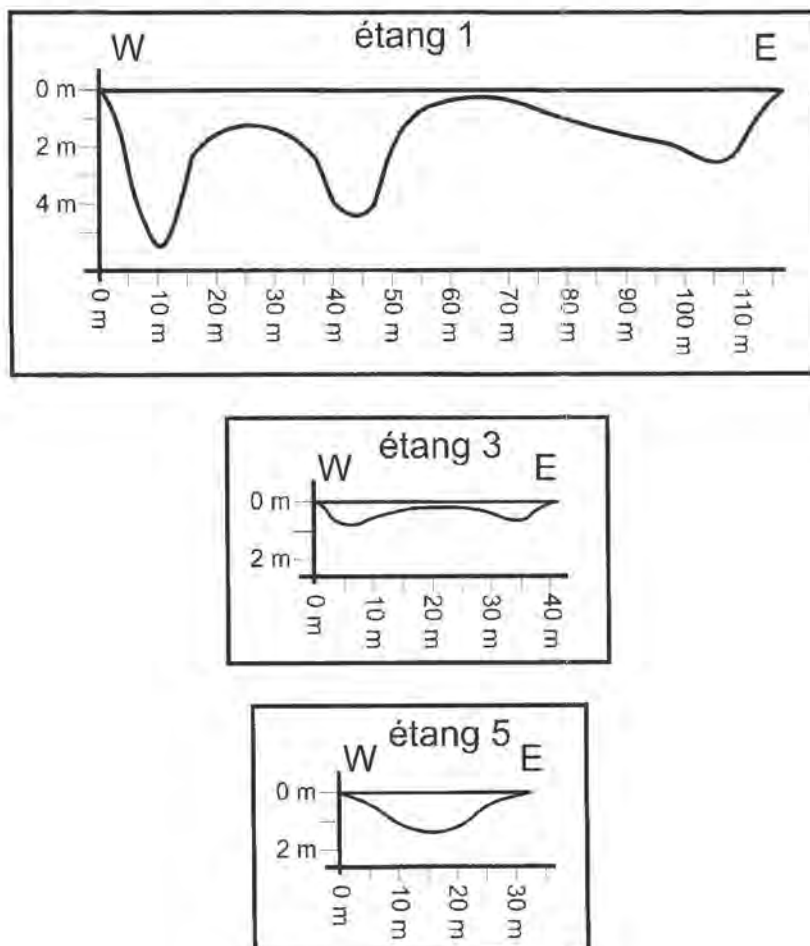


Figure 97: Coupes transversales des étangs 1, 3 et 5

proviennent du matériau utilisé pour le remblaiement du chemin forestier. La tarière traverse ces cailloux sur une épaisseur d'un mètre sans que des sédiments plus fins soient atteints. Les cailloux proviennent de toute évidence d'un glissement de terrain dont la niche d'arrachage est visible au sud de l'étang (fig. 90).

Le fond de l'étang 1 est couvert d'une cinquantaine de centimètres de sédiments argileux. Mais aux endroits les plus profonds, la sonde se heurte à des roches dures.

Au cours de l'été sec et chaud de 1997, les étangs 2, 3, 4 et 6, peu profonds, n'avaient plus d'eau libre, mais la vase du fond restait en permanence gorgée d'eau. Aux endroits de la dépression, où des mares apparaissent par temps de pluie prolongé seulement, les sols restaient également humides.

Au contraire, en avril de l'an 2000, le niveau des étangs avait sensiblement augmenté. Les étangs 5 et 6 n'étaient plus séparés que par une bande de terrain de quatre mètres de largeur. Entre les étangs 2 et 3 était apparue une nouvelle mare. Six mares bien individualisées s'étaient développées dans la partie orientale de la dépression, là où d'habitude il n'y a que des fonds humides.



Photo 15: L'étang n° 1 par basses eaux (A. Storoni, août 1997)

4.2.4 Les entonnoirs

Une douzaine d'entonnoirs d'effondrement accompagnent les étangs (fig. 88). D'après leur localisation, on peut les classer en trois groupes:

a) Les cinq entonnoirs qui se trouvent sur le bord du replat sont de dimensions très inégales et vont de 1,20 m de diamètre et 50 cm de profondeur pour le plus petit situé près de l'étang 4, jusqu'à 7,50 m de diamètre et 4 m de profondeur pour le plus grand qui se trouve en face de l'étang 2. Alors qu'ailleurs les formes des entonnoirs sont plutôt émoussées, dans ce dernier cas, les traces d'arrachage de la litière sont bien visibles et les marques de glissement encore relativement fraîches. Un hêtre d'une dizaine d'années, dont le bas du tronc s'est incurvé à la suite de l'effondrement, pousse sur la pente de l'entonnoir. La partie supérieure de l'entonnoir s'est effondrée dans les colluvions, les marnes micacées affleurent à 2 m de profondeur. Tous les entonnoirs de ce groupe restent à sec tout au long de l'année.

b) Les six entonnoirs qui se trouvent dans la dépression ou en longent le bord méridional ont des dimensions comparables: 5 à 6 m de diamètre et 2 à 3 m de profondeur (fig. 88). Les trois entonnoirs situés en dehors de la dépression sont secs, les trois autres contiennent de l'eau. Parmi ces six entonnoirs, les quatre qui suivent le bord sud de l'étang 1 sont alignés.

c) Un entonnoir de 5 m de diamètre se trouve en amont du replat, sur le talus des couches à *Sonninia* (fig. 88).

d) Quelques petits entonnoirs se trouvent en amont des crevasses.

4.2.5 Les crevasses

Au-delà de la limite orientale de la dépression, cette dernière est remplacée par une série de crevasses alignées (fig. 88). Ces crevasses sont de taille inégale. La crevasse la plus profonde se trouve à environ 50 m de la limite Est de la levée marginale (fig. 98). Elle surplombe directement le front de taille de l'ancienne exploitation à ciel ouvert. Vers le SW, les crevasses deviennent moins profondes (un à deux mètres). Elles se terminent régulièrement en cul-de-sac pour reprendre quelques mètres plus loin. Elles s'arrêtent définitivement aux abords du chemin forestier qui descend du Tételbiery vers Lamadelaine.

A un endroit, le fond d'une de ces crevasses accueille une petite mare qui est alimentée en permanence par de l'eau qui suinte de la nappe phréatique des calcaires à *Sonninia*, puis ruisselle le long du talus.

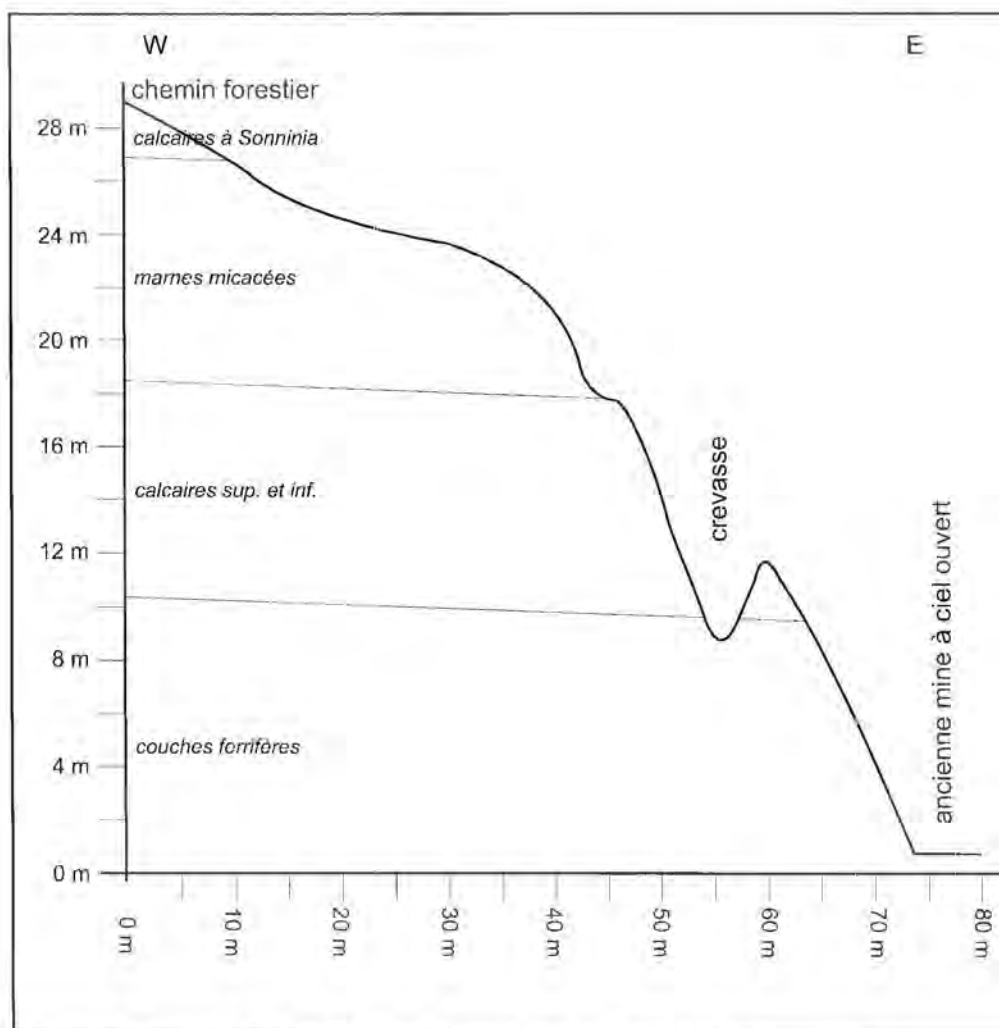


Figure 98: Crevasse à l'est du site (voir fig. 70, coupe k)

4.2.6 Les interprétations morphogénétiques existantes

Deux explications ont été avancées en ce qui concerne la genèse des formes d'affaissement du site du Tételberg: une explication qui privilégie l'origine des étangs - tout en restant muette sur celles de la dépression et de la levée marginale - et qui en attribue la genèse à l'extraction du minerai de fer, et une explication archéologique qui fait remonter l'apparition de la dépression et de la levée marginale au temps des Trévières.

a) explication minière

D'après M. Lucius (1945, p. 7), les étangs du Tételberg correspondent à des entonnoirs d'effondrement⁴⁵ dus à l'exploitation souterraine de la minette.

⁴⁵ M. Lucius, 1945, page 3: "Durch den Stollenabbau verursachte Einsturztrichter im Glimmermergel" (trad.: entonnoirs d'effondrement dans les marnes micacées dus à l'exploitation par galeries souterraines)

L'eau issue de l'aquifère des calcaires qui coiffent les marnes micacées alimente en permanence les entonnoirs imperméabilisés par les marnes. Cette hypothèse repose sur des informations de première main et sur des observations de l'auteur faites au moment où l'exploitation était encore en cours au Nord du Tételbiereg.⁴⁶ Les entonnoirs qui accompagnent les étangs (fig. 88) montrent d'ailleurs que les effondrements sont monnaie courante sur ce site⁴⁷.

Toutefois l'hypothèse de M. Lucius se heurte à la nature des formes de relief inventoriées sur le site:

- Les étangs 2 à 5 n'ont pas la forme d'entonnoirs mais sont caractérisés par un profil transversal plat et peu profond.
- Le fond de l'étang 1 révèle effectivement trois creux en forme d'entonnoir (fig. 97). Ils n'occupent cependant qu'une partie de l'étang, et le fait qu'ils soient inscrits dans le fond de l'étang plutôt que de le constituer, montre bien que la formation de celui-ci demande une explication à part.
- Les six étangs n'apparaissent pas dans le paysage comme des unités morphologiques spécifiques mais ne constituent que les endroits les plus bas d'une dépression de 600 m de longueur. L'explication des étangs ne peut donc pas être dissociée de celle de la dépression.

b) explication archéologique

Plus récemment, une autre explication a été suggérée par J. Metzler (1955, t.1, p.32) qui pense que la levée de terrain située entre les étangs et l'ancien front de taille pourrait constituer un rempart extérieur précédant le rempart principal situé au niveau du plateau. Quant à la dépression allongée qui renferme les étangs, elle serait éventuellement imputable aux Trévires qui auraient exploité les marnes micacées pour leur contenu en argiles dont ils avaient besoin pour la fabrication de la poterie et la construction des maisons en pisé.

Cette hypothèse se trouve confortée par des analyses palynologiques faites en 1995 par W. Dörfler, dans les sédiments argileux qui tapissent le fond oriental de l'étang 1⁴⁸. W. Dörfler a trouvé, dans la partie inférieure des sédiments, plus de 60 % de pollens de *Quercus* associés à *Fagus*, *Carpinus* et *Juglans*, en même temps que des traces de plantes cultivées par l'homme. Dans les horizons moyens et supérieurs des sédiments, les pollens de *Pinus* représentent plus de 80 %, alors que *Fagus*, l'essence naturelle des plateaux calcaires, est pratiquement absente des échantillons.

⁴⁶ Les étangs existaient déjà à ce moment (cf. M. Lucius, 1945, photos p. 2 et 3).

⁴⁷ Des entonnoirs et des crevasses sur le site Tételbiereg sont documentés sur plusieurs plans d'exploitation. Le plus ancien en date remonte à 1888 (A.E.L. IM II dossier 9, farde 70)

⁴⁸ Le Dr W. Dörfler de l'Institut für Ur- und Frühgeschichte de Kiel a eu l'extrême gentillesse de me communiquer les résultats de ses analyses.

W. Dörfler ne se prononce pas sur l'origine des étangs, mais il conclut - sur la base des analyses palynologiques (forte proportion de *Quercus* et très faible représentation de *Fagus*)- que ceux-ci ont dû se former bien avant le 19e siècle.

L'explication archéologique n'a pas non plus pu être vérifiée par l'étude géomorphologique du site. En effet:

- On ne retrouve nulle part de traces de remaniement indiquant le travail humain dans les couches de la levée, ni aux endroits où la levée est entaillée, ni sur les pentes des entonnoirs situés sur la levée, ni dans les coupes faites à la tarière.
- Il n'y a pas de traces de creusement anthropique dans la dépression ou du moins aucune des formes de relief n'est incompatible avec le résultat de mouvements naturels tels que des affaissements ou des glissements de terrain.
- Les étangs ne constituent que la partie basse de la dépression. Ce serait donc l'ensemble de la dépression qui aurait été vidée par les Trévires. Or, les sédiments qui auraient été extraits sur une profondeur de quelque 2 m ne seraient pas des marnes argileuses mais essentiellement des colluvions calcaire-argileuses provenant du talus qui surplombe le replat. Or, ces derniers sont inutilisables pour les besoins de la poterie et ne conviennent probablement pas non plus pour ceux de la construction.
- La présence dans un à deux décimètres de sédiments des restes d'une association végétale typique du début de notre ère pourrait éventuellement s'expliquer par la survivance d'un fond humide sur ce replat imperméabilisé par les marnes micacées et sur lequel on trouve les exutoires de la nappe phréatique du Bajocien. La présence de pollens de *Pinus* dans la partie supérieure des sédiments limniques pourrait être due à l'introduction de pins destinés à servir de bois de soutènement dans les mines. Des pins qui ont été plantés en grand nombre à la fin du 19e siècle existent encore aujourd'hui sur le promontoire Pränzebiert qui se trouve en face du site du Tételbiert, à un kilomètre environ de distance.
- Afin de vérifier l'explication archéologique, nous avons essayé de déterminer, dans la dépression, la profondeur de la roche en place. A cause de l'épaisseur des colluvions dans la plus grande partie de la dépression, nous n'avons pu comparer les roches du fond de la dépression avec celles situées au même niveau sur le front de taille qu'à l'est du site, où la dépression est plus profonde (fig. 88, coupe i). Le forage à la tarière à main a permis d'y reconnaître directement les effets de l'affaissement, car les colluvions remplissent la dépression au moins jusqu'à 120 cm⁴⁹, alors que, au même niveau, les calcaires du toit de la

⁴⁹ Les trois forages ont révélé partout le même type de colluvions sablo-argileuses contenant des débris calcaires en proportion variable.

formation ferrifère affleurent déjà sur la levée marginale (fig. 99). A cet endroit du moins la subsidence du terrain est incontestable.

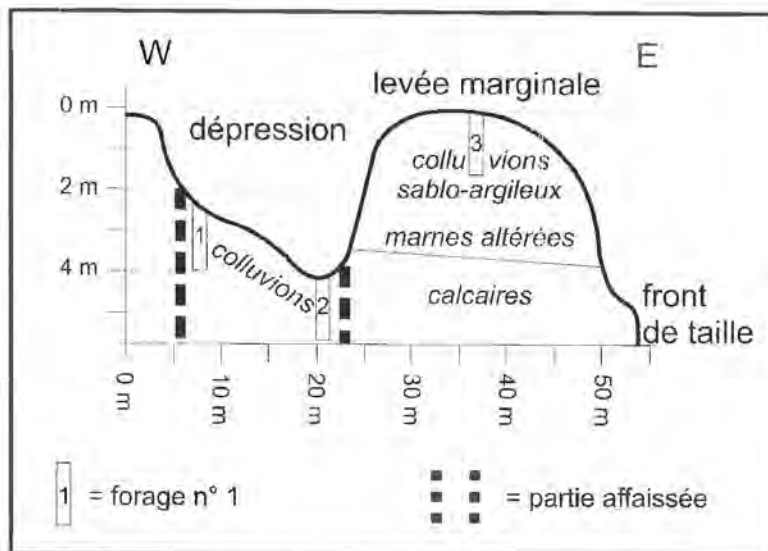


Figure 99: L'affaissement des terrains à l'est du site (fig. 88, coupe i)

4.2.7 Formes d'affaissement et modes d'exploitation

Si le site Tételbiert est le seul dont la genèse des formes de relief en creux ait été contestée, c'est aussi le seul à présenter des formes d'affaissement aussi peu caractéristiques. Ailleurs sur le talus bajocien, les affaissements apparaissent soit sous forme de crevasses parallèles à la pente soit sous celle d'entonnoirs alignés sur les courbes de niveau. Comme la nature du sous-sol et du relief ne diffère pas fondamentalement de celle des autres sites du talus bajocien, les formes d'affaissement du site Tételbiert doivent être imputées aux particularités du mode d'exploitation en vigueur à cet endroit.

Le site se trouve dans le domaine du non concessible dont la limite passe au sud des étangs, à peu près à hauteur du chemin forestier (fig. 86). Le minerai de fer pouvait donc être extrait soit en surface soit en sous-sol, au gré des conditions de rentabilité et des données de la propriété foncière.

Trois sociétés ont exploité le minerai de fer à cet endroit du Tételbiert: à l'ouest la Société des Acieries d'Angleur, au centre la Société des Forges de la Providence; à l'est l'exploitation a été faite conjointement par cette dernière et la Société des Mines d'Esch (Ch. Limpach, 1908).

L'exploitation s'est faite en plusieurs étapes, à la fois - et en même temps - à ciel ouvert et par galeries souterraines. Elle a commencé à ciel ouvert sur le bas du talus aalénien, mais, dès les années 1880, elle s'est faite

également dans la couche rouge, par galeries souterraines dans la "zone du ciel ouvert qui longe le concessible sur une distance de plus de mille mètres"⁵⁰. La largeur de l'exploitation était d'environ 75 m sur les extrémités de la minière et de 100 m en son milieu⁵¹. En 1906, la couche rouge avait été presque entièrement exploitée, du moins dans la partie orientale du site⁵². En 1928, une demande d'exploitation⁵³ et en 1930, une demande d'autorisation de défilage⁵⁴ pour la couche grise et une partie de la couche rouge situées à l'ouest de la minière Wollefskaul furent introduites. La largeur de la bande à dépiler était d'environ 40 m (fig. 100 et 101).

La raison du double mode d'extraction minière, à première vue déconcertant dans une minière finalement assez petite, doit être cherchée dans la répartition des propriétés. La partie des terrains touchant à la limite du concessible⁵⁵ n'appartenait pas aux sociétés exploitantes mais à la commune de Pétange qui n'en avait accordé la jouissance du tréfonds que pendant une durée limitée.⁵⁶ L'épaisseur croissante des couches de recouvrement en direction de la limite du concessible a dû jouer également un certain rôle.⁵⁷

Par la suite, dans les années 1940 et 1950, les anciennes galeries d'accès furent recoupées au fur et à mesure que les travaux à ciel ouvert avancèrent. Le front de taille actuel n'a rejoint qu'exceptionnellement les zones précédemment exploitées par mines souterraines (fig. 101). Les nombreux éboulements qui se sont produits ultérieurement sur le front de taille ont caché la plupart des galeries, mais quelques-unes restent encore visibles à l'heure actuelle (photo 16). Dans les années 1970, une voie de chemin de fer⁵⁸ fut construite au nord et à l'ouest du Tételbiérg. A la suite de ces travaux, le fond de la minière Wollefskaul a été en partie remblayé. Beaucoup de traces de l'exploitation souterraine qui avaient survécu jusque-là, notamment au niveau de la couche grise, ont alors disparu à leur tour.

⁵⁰ A.E.L. IM II 9, farde 70

⁵¹ D'après un plan d'exploitation de 1887 (A.E.L. IM II 9, farde 70)

⁵² A.E.L. IM II 9, farde 71 et IM II 11, farde 168

⁵³ A.E.L. IM I 27, farde 191

⁵⁴ A.E.L. IM II 21, farde 211

⁵⁵ Cette partie est libellée "bois communal" sur les plans

⁵⁶ A.E.L. IM I 27, farde 191: "Les terrains compris entre la limite du concessible et la ligne noire brisée appartiennent à la commune de Pétange. Le contrat accordant à la société de la Providence le droit d'extraire les minerais prend fin en 1932 et il faut qu'à cette date les travaux d'exploitation soient achevés, faute de quoi, la société est obligée de payer une seconde fois la redevance due. La société doit donc hâter l'exploitation et pour ce motif on a l'intention de commencer en même temps l'extraction par galerie conjointement avec l'exploitation à ciel ouvert...Le front de taille de l'exploitation à ciel ouvert restera séparé par un massif d'au moins 10 mètres des galeries, tant que celles-ci seront en exploitation".

⁵⁷ A.E.L. IM II 21, farde 211: "...les terrains de recouvrement atteignent une hauteur respectable de manière que l'exploitation à ciel ouvert ne pourra guère être poussée plus loin...tout travail d'abatage à ciel ouvert devra être arrêté dès que les travaux de défilage ne seront plus qu'à une distance de 20 mètres du front de taille".

⁵⁸ Cette voie devait relier la mine Pränzebiérg près de Niederkorn au funiculaire de Rodange.

Un plan complet de l'exploitation souterraine n'a pas pu être retrouvé, et les informations fragmentaires qui sont disponibles sont difficiles à faire concorder. Mais un ancien plan du début des années 1940⁵⁹ nous renseigne heureusement sur les limites du domaine dépilé⁶⁰ (fig. 101).

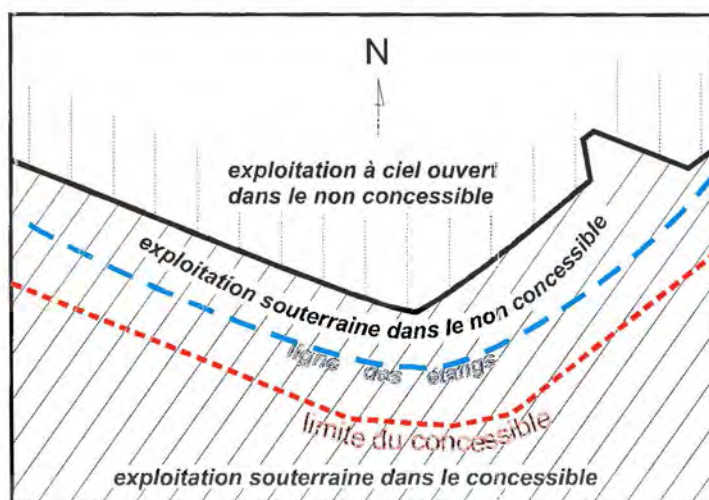


Figure 100: L'exploitation minière mixte au nord du Tételberg
L'exploitation souterraine dans le non concessible s'est faite entre le front de taille et la limite du concessible sur une largeur de 40 m.



Photo 16: Galerie de la couche rouge débouchant sur le front de taille au pied de l'étang n° 1 (A. Storoni, juillet 1998)

⁵⁹ Plan d'exploitation intitulé : A.G. Providence Wolfskaul Tagebau, échelle 1:1000, non daté, complété en 1941, 1943 et 1946 (coll. Ch. Storoni).

⁶⁰ Une partie du domaine exploité plus tard à ciel ouvert avait été exploité auparavant par galeries souterraines. (Cela avait notamment été le cas à l'ouest du site.) Les piliers résiduels furent récupérés plus tard à ciel ouvert. (A.E.L. IM II 9, farde 70; A.E.L. IM II 9, farde 71 et A.E.L. IM II 11, farde 168)

Ces données historiques sur l'exploitation minière permettent d'étayer l'hypothèse de l'origine minière avancée par M. Lucius et de tenir compte, en même temps, de la spécificité des formes d'affaissements telles qu'elles se présentent sur le site Tételbiert (fig. 101 et 102)

La **dépression** qui est la forme majeure du site est le résultat d'affaissements qui se sont produits au-dessus de la zone défilée qui longe la limite du concessible. A cause de la présence de deux bords fermes assez rapprochés - au nord, le massif rocheux laissé provisoirement en place, et, au sud, la limite du concessible -, les affaissements sont restés étroitement cantonnés au-dessus de la zone défilée. La profondeur inégale de la dépression et le tracé irrégulier de ses bords permettent de penser que, sur le site Tételbiert, ce sont des entonnoirs isolés⁶¹, accompagnés le cas échéant de crevasses⁶², qui sont apparus dans une première étape. Mais, au fur et à mesure que les affaissements se généralisaient, les entonnoirs firent leur jonction et donnèrent naissance à des creux allongés formés d'entonnoirs coalescents qui finirent par créer une dépression irrégulière mais continue⁶³.

Cette explication est soutenue par la concordance parfaite entre les limites de la dépression et celles du domaine exploité par la Providence. En effet, **à l'ouest** des étangs - à l'endroit même où les exploitations des sociétés Angleur et Providence se touchent - la dépression cesse subitement. La levée marginale est remplacée, à cet endroit, par un deuxième rejet de terrain orienté dans le même sens que le premier (fig. 88 et 89). De même, plus loin sur le flanc occidental du Tételbiert, la dépression ne réapparaît plus nulle part car, à cet endroit, le minerai a été extrait d'abord exclusivement à ciel ouvert, puis - après que l'exploitation à ciel ouvert eut cessé au début du 20^e siècle - uniquement par mines souterraines.⁶⁴ **A l'est** de l'exploitation de la société de la Providence, la dépression s'arrête également à l'endroit où passe la limite entre les exploitations des mines exploitées en commun par la société Providence et la société des Mines d'Esch. La dépression y est remplacée par des crevasses comme on les trouve un peu partout sur le talus bajocien au-dessus de mines défilées.

En conformité avec ce qui a été dit précédemment, la **levée marginale** ne peut pas être considérée comme un élément topographique à part. Il ne s'agit

⁶¹ Dans son livre de 1945 qui a été écrit à un moment où les subsidences étaient encore assez récentes, M. Lucius parle, à la page 7, également d'entonnoirs en série (... "reihen sich Einbruchstrichter oft perlschnurartig aneinander und bilden Weiher an Weiher").

⁶² Déjà en 1888, des affaissements s'étaient produits sur le site sous forme d'entonnoirs isolés et de crevasses. (A.E.L. IM II dossier 9, farde 70)

⁶³ D'après B. Whittaker et J. Reddish (1989), là où le tracé des galeries le permet, des entonnoirs en série peuvent se développer le long des courbes de niveau du talus, au point de se rejoindre et de constituer un fossé irrégulier parallèle au talus.

⁶⁴ Le front de taille qu'on retrouve encore de nos jours, et duquel partent les galeries qui donnent accès aux couches rouge et grise, remonte à 1915, date de la cessation des travaux en surface.

en fait que du reste de la pente naturelle du replat recoupée à l'amont par le talus méridional de la dépression et, à l'aval, par le front de taille.

Les entailles de la levée marginale s'expliquent de deux façons:

- a) Les deux brèches situées en face des étangs 1 et 2 correspondent à des galeries principales creusées à partir de l'ancien front de taille. Dans l'abrupt au pied de la brèche qui se trouve en face de l'étang n° 1 subsiste encore une galerie en partie éboulée qui a été recoupée par le front de taille. Des traces d'une autre galerie se trouvent au pied de l'étang n° 2.
- b) L'entaille de la levée marginale située en face de l'étang n° 4 et l'importante brèche se trouvant à l'est de l'étang 6 sont dues aux indentations de la limite nord de la zone dépilée. Ce sont là les deux seuls endroits où le front de taille a mordu sur le domaine précédemment dépilé. A cette occasion, la levée marginale a dû être emportée à ces endroits.

Toujours en accord avec l'interprétation proposée, les **étangs** ne sont à considérer que comme les endroits les plus profonds de la dépression qui, de ce fait, collectent aujourd'hui encore les eaux s'échappant de la nappe phréatique bajocienne du Tételbiérg par les exutoires du talus⁶⁵. Ces eaux rejoignent les étangs par percolation à travers les colluvions qui tapissent la pente sur une épaisseur de 1 à 2 mètres. A défaut de sources - comme on les trouve sur le flanc opposé du Tételbiérg, dans le sens du pendage des couches -, on peut observer, par endroits, des zones de suintement des eaux souterraines⁶⁶.

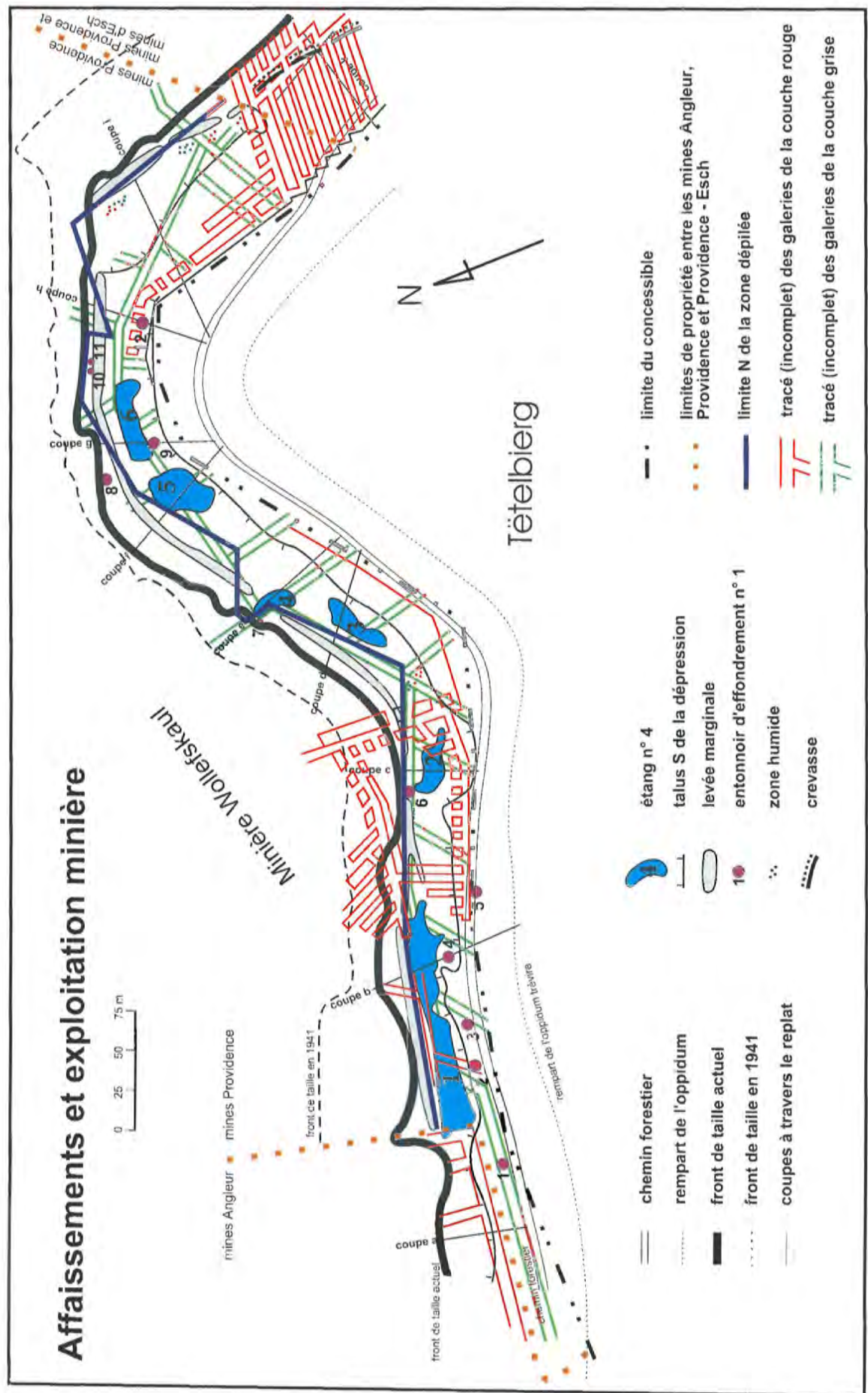
On peut avancer comme indice supplémentaire du bien-fondé de cette interprétation le fait que, à l'exception du numéro 1, tous les étangs du Tételbiérg se raccordent sans rupture de pente au reste du fond de la dépression et que leurs surfaces - tantôt plus petites, tantôt plus grandes et parfois coalescentes - dépendent uniquement de la hauteur changeante du niveau d'eau (photo 17).

Figure 101: Les affaissements et l'exploitation minière au N du Tételbiérg (essai de reconstitution⁶⁷) →

⁶⁵ Le même phénomène a dû être responsable de la présence sur le replat - à un moment où la dépression n'existait pas - de zones humides ayant accueilli, au temps des Romains, l'association de pollens décrite par le Dr W. Dörfler.

⁶⁶ Notamment à hauteur de la coupe i (figure 88)

⁶⁷ La situation du talus originel au pied de la minière Wollefskaut - dont la connaissance aurait permis de reproduire approximativement l'allure de la pente du talus telle qu'elle existait avant l'exploitation minière - ne peut pas être reconstituée, car les déblais rejetés sur le bas du talus au cours des décennies ont complètement altérés ce talus, au point d'y faire apparaître des replats artificiels comme la butte de la Sainte Madeleine, à l'ouest du site, par exemple.



L'étang n° 1 joue un rôle à part en ce sens qu'il a été altéré par l'apparition de profonds entonnoirs sur son fond (fig. 97). En plus, des saillants, qui ne figuraient pas encore sur la carte photogrammétrique de 1977⁶⁸, sont apparus sur les bords de l'étang. Le fait que les bords des nouveaux saillants portent des traces d'arrachage du sol et ont une pente plus raide que le reste des bords de l'étang, témoigne aussi de la jeunesse relative de ces formes. A basses eaux, un des saillants apparaît d'ailleurs comme un creux arrondi séparé du reste de l'étang par un haut-fond. Il s'agit, de toute évidence, d'un entonnoir tardif qui, s'étant développé à proximité immédiate de l'étang, en augmente la surface à moyennes eaux, lorsque ses propres bords sont immergés.

La formation des **entonnoirs** actuels est plus récente que celle de la dépression. Les formes y sont plus vives et montrent souvent des traces d'arrachage et de glissement. C'est notamment le cas de l'entonnoir situé à l'est de l'étang 6 et de celui qui se trouve en face de l'étang 2. Dans ce dernier cas, la présence d'un arbre dont le tronc s'est incurvé à la suite de l'affaissement permet de faire remonter la subsidence du terrain à une douzaine d'années. L'explication de l'apparition des entonnoirs est difficile, car le peu d'informations dont nous disposons pour les anciennes galeries et la fiabilité toute relative de la reconstitution de la géométrie de la mine due à la superposition conjecturale de plusieurs plans dessinés à différentes échelles (fig. 101), ne permet pas de faire coïncider les entonnoirs avec le tracé des galeries des couches rouge ou grise.



Photo 17: Le raccordement progressif des bords de l'étang n° 5 au fond de la dépression (A. Storoni, juillet 1998)

⁶⁸ Schindler et Koch 1977

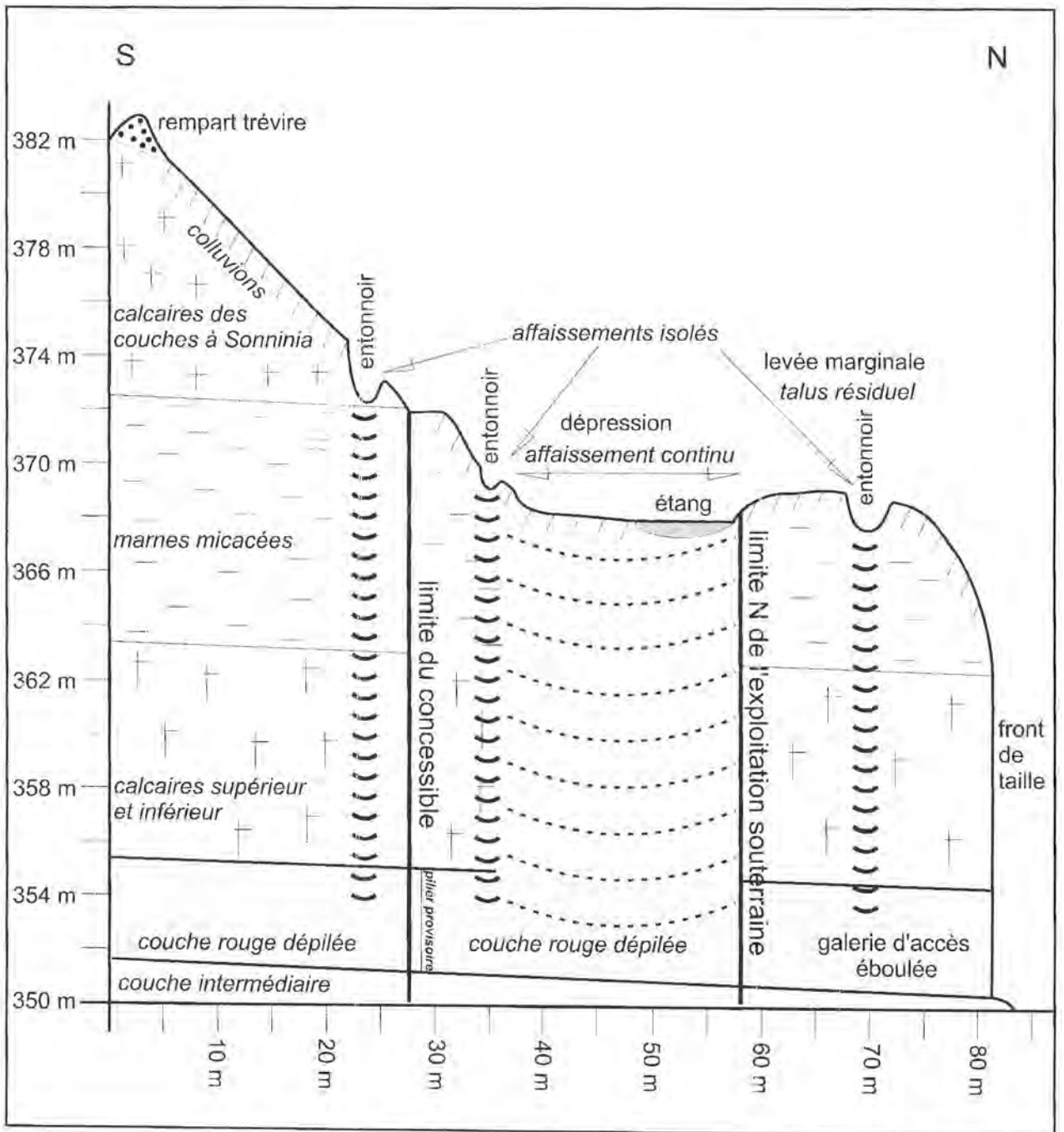


Figure 102: Morphogenèse des creux d'affaissement du site Tételberg

On peut néanmoins, encore une fois, invoquer le schéma général d'interprétation pour les entonnoirs n^{os} 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10 et 11 qui se trouvent en dehors de la dépression, c'est-à-dire au sud, à proximité de la limite du concessible, où des piliers ont dû rester en place; et, au nord, sur la levée marginale, dans la partie de la mine Providence entamée seulement par des galeries d'accès.

Les entonnoirs n^{os} 4, 9, 12 et ceux qui se trouvent au fond de l'étang n^o 1, sont probablement le résultat d'éboulements tardifs s'étant opérés dans la couche grise, voire dans les couches rouge et grise à la fois, aux endroits où,

à l'ouest du site, l'exploitation s'est faite, en même temps, dans les deux couches.⁶⁹

Les **crevasses** qui apparaissent au-delà de l'exploitation de la société Providence sont - comme sur le site Kalebiërg (chap. 4.1), le résultat de la détente des roches qui ont été déstabilisées par des éboulements souterrains et ont glissé dans le sens de la pente. La grande profondeur des crevasses et l'importance du rejet de leur lèvre inférieure (fig. 98) sont imputables d'un côté au fait qu'ils se situent - contrairement à celles du site Kalebiërg - vers l'aval-pendage et que le pied du talus y a été artificiellement raidi par les travaux d'extraction à ciel ouvert, d'où un appel au vide et une détente renforcés.

Conclusion

Les affaissements du site Tételbiërg confirment, à leur tour, que ce sont en premier lieu les conditions d'exploitation minière qui déterminent la nature des formes de relief. Des bords fermes parallèles laissés en place sur plusieurs centaines de mètres ont donné lieu à des affaissements emboîtés qui ont peu à peu abouti à une dépression calquée sur la zone de défilage. De part et d'autre de cette zone sont apparus plus tard des entonnoirs isolés comme on les trouve ailleurs.

Les mares du site ne méritent pas dans tous les cas la dénomination d'entonnoirs-mares, étant donné qu'elles ne correspondent pas toujours à des entonnoirs bien individualisés, mais aux parties les plus basses de la dépression. C'est pour cette raison que de nouvelles mares intercalées peuvent apparaître, ou que des "étangs" peuvent s'assécher temporairement au gré des variations du bilan hydrologique alimenté à la fois par les eaux atmosphériques et les eaux souterraines de la nappe bajocienne.

Les crevasses qui se trouvent à l'est du site Tételbiërg ont la même origine que celles du site Kalebiërg (voir chap. 4.1 - site Kalebiërg). Leurs formes plus amples sont dues, d'une part, au pendage des couches qui, étant dans le sens de la pente, favorise la détente des roches et, d'autre part, à la présence au pied du talus d'un ancien ciel-ouvert. Il est probable que, ailleurs sur les talus, l'importance des crevasses soit également fonction de ces deux facteurs (voir chap. 4.3 - site Grand Bois).

⁶⁹ voir notes 53et 54 supra

4.3 Les crevasses du site Grand Bois

4.3.1 Le site

Le site Grand Bois se trouve au sud-est de Lasauvage, sur le versant oriental de la vallée de la Crosnière (fig. 23 et 103). Au droit d'un vallon latéral, le site remonte jusqu'à la route C.R.176. La partie du talus affectée par les crevasses s'étend entre 365 m et 400 m environ. Au pied du versant, le minerai de fer a été exploité à ciel ouvert (mine de la Crosnière).

Une forêt de hêtres occupe la majeure partie du site. Sur le plateau, une parcelle rectangulaire a été enrésinée. De nombreux chemins forestiers traversent la forêt. Un champ de tir a été aménagé dans la mine de la Crosnière à l'endroit où le vallon "Groussen Dreisch" débouche dans la vallée de la Crosnière.

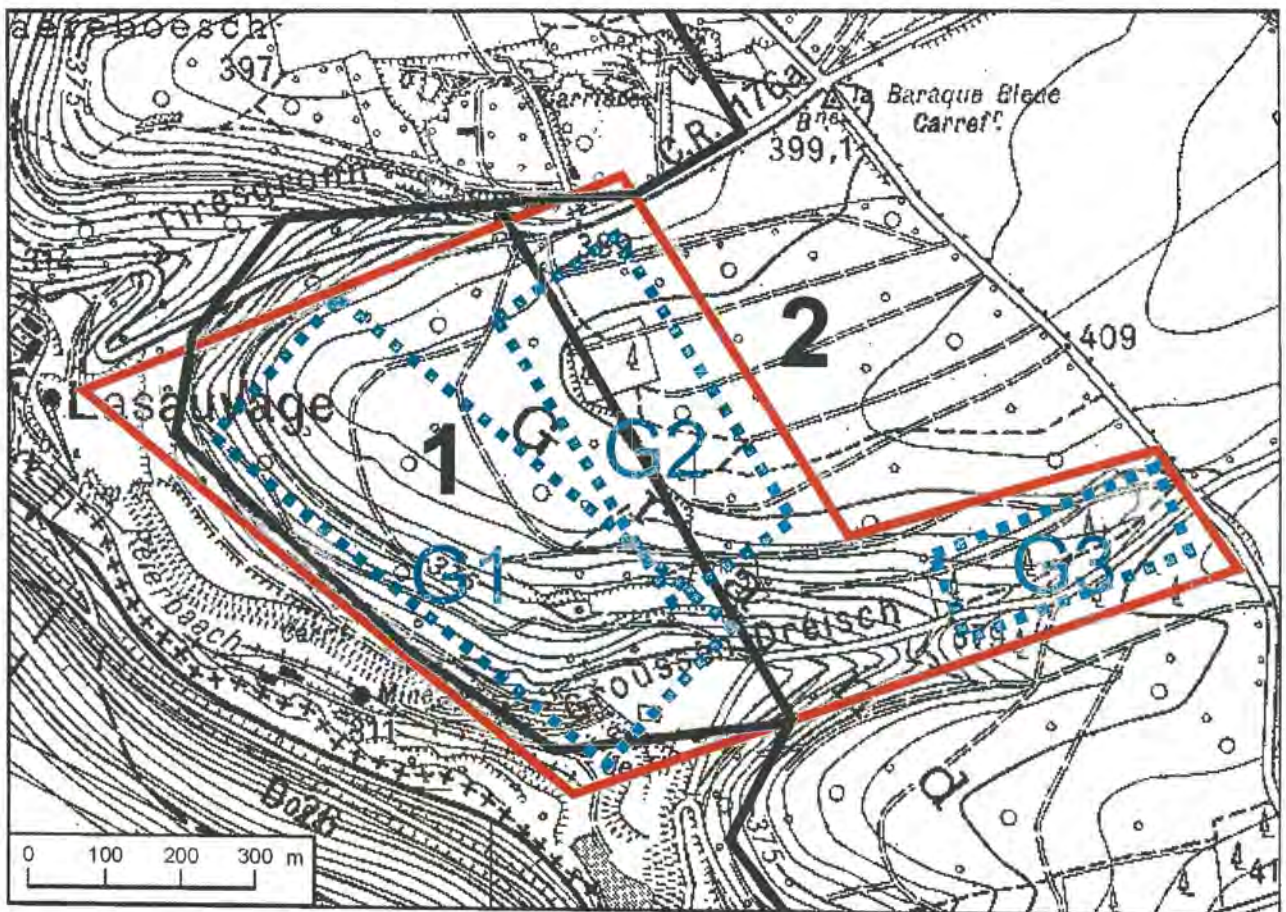


Figure 103: Le site Grand Bois (extrait de la carte topographique, 1:10 000, feuille 24D, Differdange).

En rouge, les limites du site; en bleu, les secteurs G1, G2 et G3; en noir, les limites des concessions: 1 = Grand Bois, 2 = Tilleberg-Extension

Le site se trouve entièrement dans le domaine du concessible. Le versant oriental de la Crosnière correspond à la concession Grand Bois, le plateau et la partie amont du vallon à la concession Tillebiërg-Extension. Le ciel-ouvert de la Crosnière se trouvait dans le domaine du non concessible (fig. 103).

L'ensemble des couches de recouvrement et la formation de la minette affleurent sur le versant oriental de la vallée de la Crosnière. Le pendage des couches est de 1 à 2° en direction du sud-ouest (fig. 104).

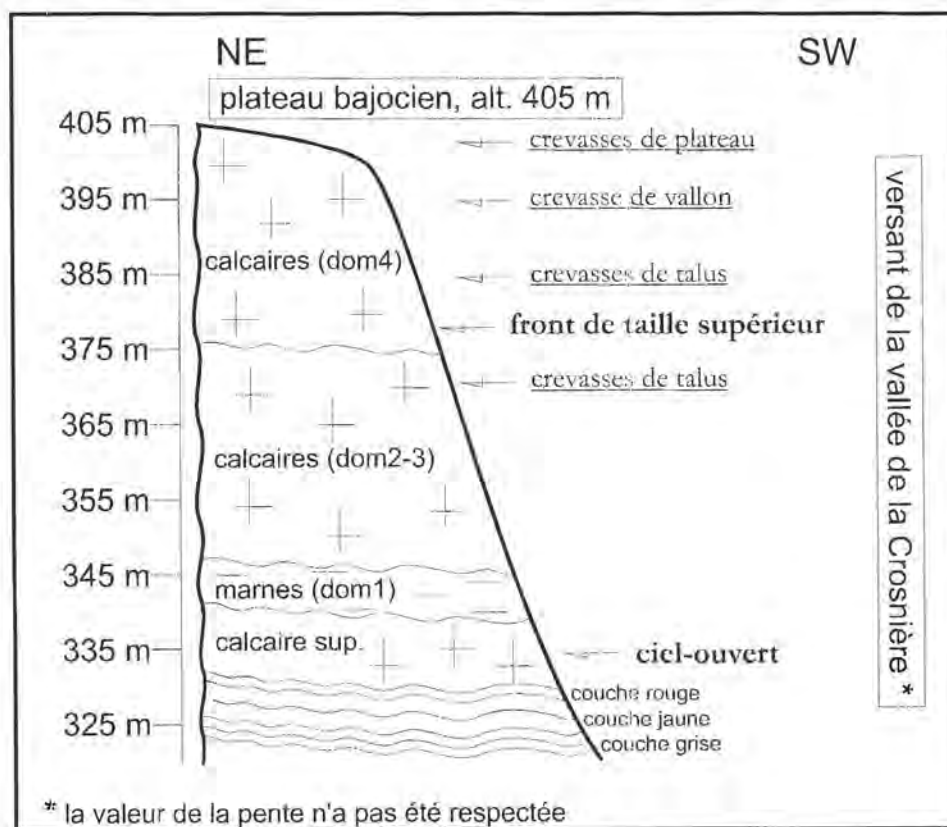


Figure 104: Les couches géologiques (d'après M. Lucius, 1945)

Sur le site Grand Bois, on ne trouve que quelques rares entonnoirs, mais les crevasses y sont exceptionnellement nombreuses et forment trois ensembles distincts (fig. 103 et 105):

- en **G1**, les **crevasses du talus** qui suivent, en gros, les courbes de niveau du versant oriental de la vallée de la Crosnières (direction E-W)
- en **G2**, les **crevasses du plateau** qui se trouvent à une altitude de 400 m, mais qui descendent sur une courte distance, dans les vallons "Groussen Dreisch" et "Tiresgronn" qui limitent le site Grand Bois au nord et au sud (direction ESE-WNW)
- en **G3**, la **crevasse du vallon** "Groussen Dreisch" qui se trouve sur son versant septentrional (direction ENE-WSW)

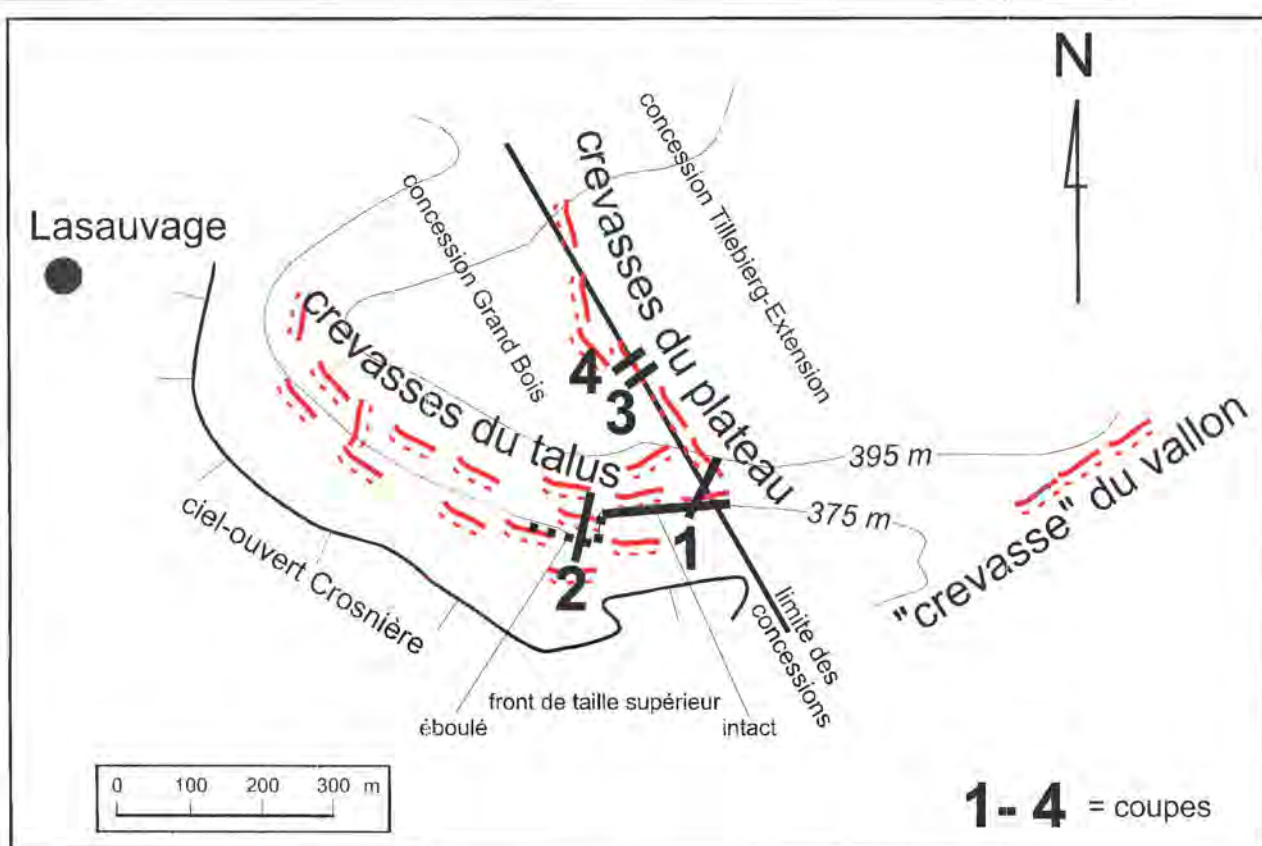


Figure 105: La localisation des crevasses (en rouge) et des coupes du site Grand Bois

4.3.2 Les crevasses du talus (G1)

Les crevasses du talus forment un ensemble irrégulier qui se greffe, en gros, sur la trame des courbes de niveau. Les crevasses sont le mieux développées entre 370 et 385 m d'altitude, mais on en rencontre aussi au-delà et en-deçà de cette zone.

Par endroits on peut compter jusqu'à huit lignes de crevasses parallèles. Tel est, par exemple, le cas près de la coupe 2 (fig. 105). A vrai dire, les crevasses sont loin de présenter une trame géométrique régulière. Au contraire, dans certains cas, elles bifurquent pour se rejoindre de nouveau un peu plus loin; dans d'autres cas, elles se terminent brusquement en cul-de-sac, puis réapparaissent un peu plus haut ou plus bas sur le talus. Parfois encore, des crevasses secondaires transverses relient les lignes de crevasses principales. A un endroit, on peut observer un entonnoir d'affaissement qui est apparu dans le prolongement d'une crevasse.

Les coupes 1 et 2 montrent l'allure des crevasses du talus:

- La coupe 1 a été faite à l'endroit où le réseau des crevasses du talus rencontre celui des crevasses du plateau (fig. 105). Les crevasses a et b font partie de ce dernier ensemble; elles seront analysées au chapitre 4.3.3. La crevasse c appartient au réseau des crevasses du talus. La coupe 1 s'arrête à un ancien front de taille⁷⁰ (fig. 106 et 107).

- La coupe 2 deux est décalée de cent mètres vers l'ouest. Elle se trouve à l'endroit où le front de taille original changeait brusquement de direction (fig. 105). L'ouverture de la crevasse d a fait culbuter cette partie protubérante du front de taille (fig. 106 et 108). Toutes les crevasses de cette coupe appartiennent au réseau du talus.

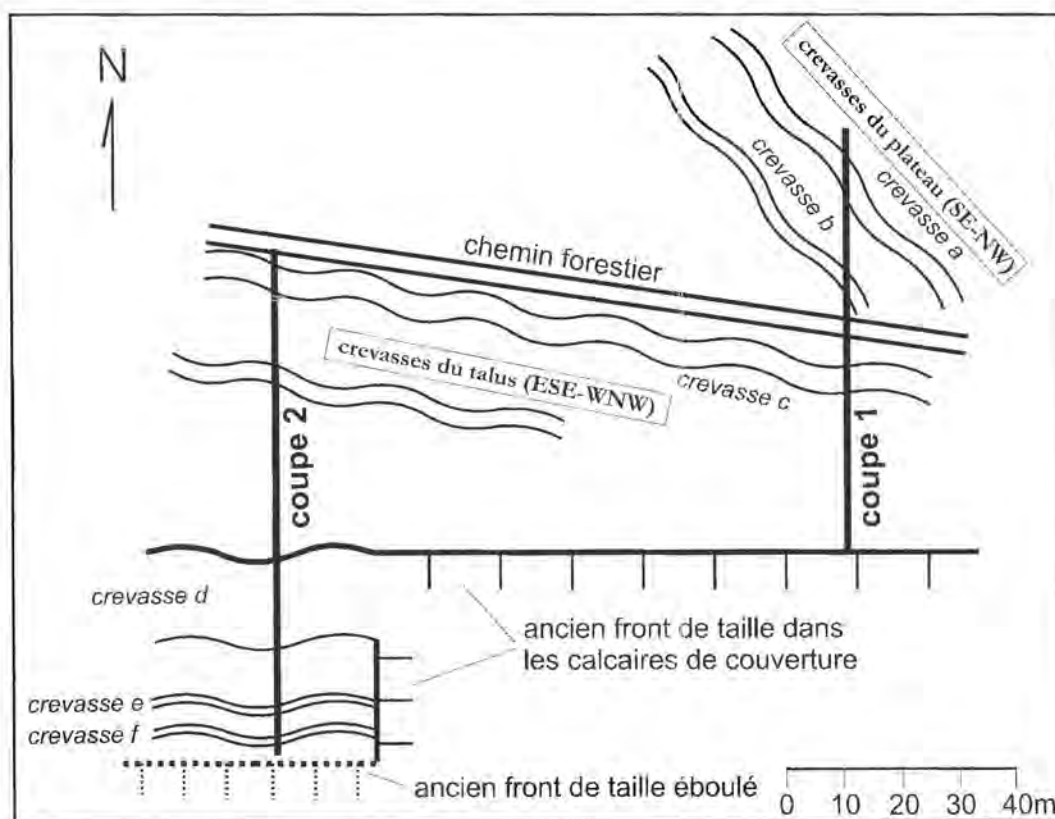


Figure 106: Croquis de situation des coupes 1 et 2

⁷⁰ Ce front de taille supérieur est le résultat du déblayage des morts-terrains. L'ampleur (une dizaine de mètres de hauteur) et la localisation du front de taille à ce niveau du talus (dans les roches supérieures de couverture et au-dessus du domaine du concessible) sont exceptionnelles. C'est probablement la raideur du talus à cet endroit qui a rendu nécessaire les importants travaux. À une centaine de mètres plus loin vers le NW, le front de taille se retrouve, sous des formes très émoussées, sur la partie inférieure du talus.

Un plan d'exploitation au 1:500, appelé "Ciel-ouvert de Lasauvage", daté du 1.12.1960 (coll. Ch. Storoni) montre que - au droit des coupes 1 et 2 - les déblais montent plus haut sur le talus, pour rester de nouveau en retrait un peu plus loin.

Une photo publiée en 1937 montre une rame d'exploitation circulant sur le gradin des calcaires coralliens. À cette époque l'ensemble du talus situé entre 375 m et le fond de la mine était en voie d'exploitation. (P. Schiltz, 1937, fig. 5 de l'annexe photographique).

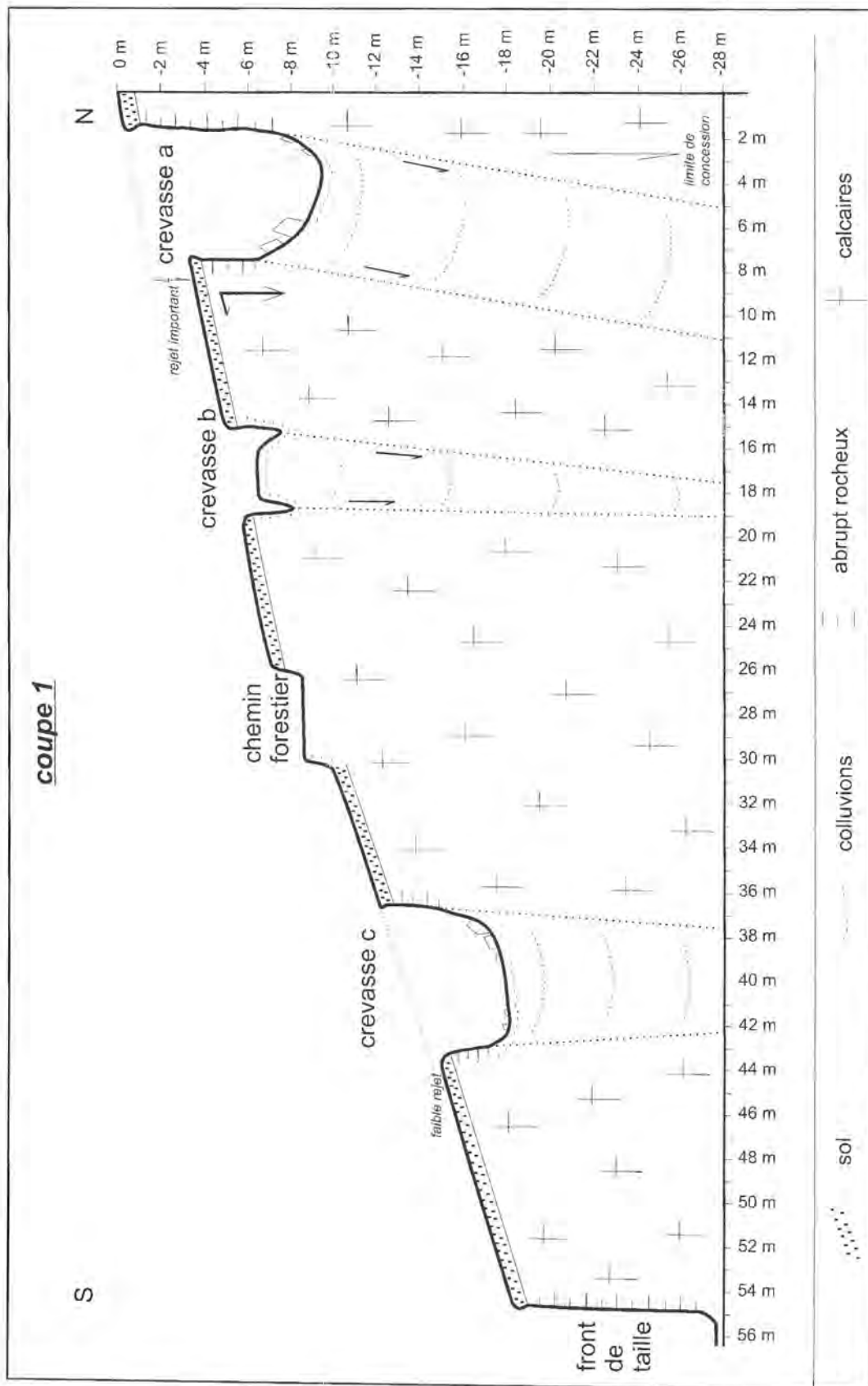


Figure 107: Coupe 1 à travers le talus du site Grand Bois (localisation fig. 106)
Les galeries se trouvent à environ 50 m de profondeur; la limite de concession passe sous la crevasse a.

La crevasse c de la coupe 1 (fig. 107) est représentative de la majorité des crevasses du talus:

- le fond large est incliné dans le sens de la pente
- les parois sont subverticales
- des débris fins et grossiers se sont accumulés au fond de la crevasse
- le rejet de la lèvre inférieure est faible

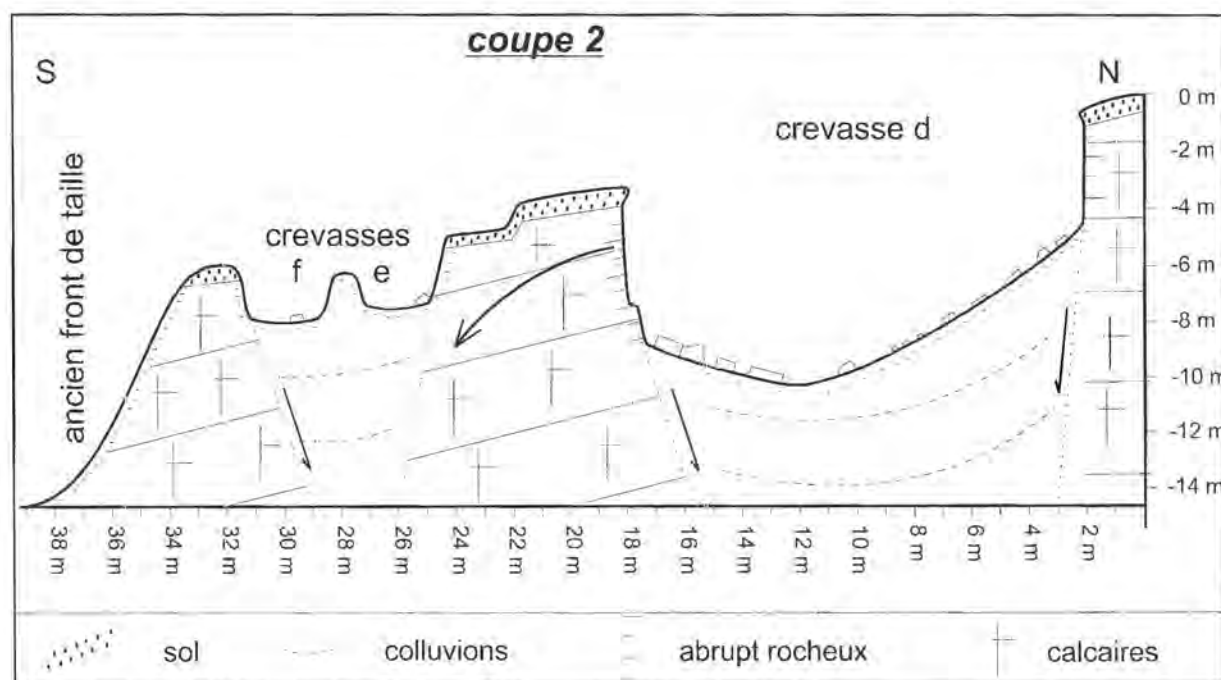


Figure 108: Coupe 2 à travers le talus du site Grand Bois (localisation fig. 106)

La crevasse d (fig. 108), qui s'est formée à l'arrière d'un front de taille, a, avec une quinzaine de mètres de largeur et une dizaine de mètres de profondeur, les plus grandes dimensions parmi les crevasses du talus (photo 18). Ici, un bloc entier, limité au sud par l'ancien front de taille, s'est détaché du massif et a culbuté dans le sens de la pente. L'inclinaison des diaclases des roches situées de part et d'autre de la crevasse est passée de 1° sur le bloc septentrional à 14° sur le bloc méridional.

En amont de la crevasse d et dans le prolongement de la coupe 2, se trouvent deux autres crevasses: à 30 m une crevasse de 4 m de largeur et de 2,5 m de profondeur; à 45 m la crevasse "c" (fig. 106) qui suit le chemin forestier sur quelque 200 m et qui a, ici, une largeur de 7 m et une profondeur de 2,5.

En aval de la crevasse f, le profil du talus a été perturbé à la suite de l'exploitation à ciel ouvert et le dessin des crevasses y est très irrégulier. On peut néanmoins y distinguer trois petites crevasses dont la profondeur est voisine de 1 m, et deux crevasses mieux développées dont la profondeur est de l'ordre de 2 à 3 m.



Photo 18: La crevasse "d" du site Grand Bois (A. Storoni, avril 2000)
La photo a été prise d'est en ouest. L'ancien front de taille se trouvait à gauche de la photo.

Par rapport aux crevasses de talus du site Kalebiert, celles du site Grand Bois sont plus nombreuses, plus larges et plus profondes. Deux faits différencient les sites Grand Bois et Kalebiert:

- a) Sur le site Grand Bois, le pendage des couches est orienté dans le même sens que la pente du talus, alors que sur le site Kalebiert c'est l'inverse. Les effets des glissements par détente, qui se font sentir - ici comme là - sur le talus, sont renforcés dans le Grand Bois par le fait que la détente s'y opère vers l'aval-pendage. Le pendage des couches est sans doute responsable en grande partie de l'ampleur des crevasses sur le site Grand Bois.
- b) Il y avait à plusieurs endroits du talus du site Grand Bois des fronts de taille (fig. 103 et 105) qui ont fortement contribué à en raidir la pente. Ce fait a joué dans le même sens que le pendage des couches. Il est probablement responsable aussi de la présence de crevasses sur toutes les parties du talus du site Grand Bois, alors que sur le site Kalebiert - où la mine à ciel ouvert est loin du talus bajocien dont elle est séparée par le replat aalénien - on ne rencontre les crevasses que sur la partie supérieure du talus (chap. 4.1).

4.3.3 Les crevasses du plateau (G2)

Une longue et profonde crevasse s'étend du SSE au NNW, en suivant, pour l'essentiel, le bord du plateau de Differlange, mais en descendant également, au NW comme au SE, dans les vallons latéraux "Tiresgronn" et "Groussen Dreisch" (fig. 103). Son tracé en général très tendu devient plus sinueux au nord de la pessièrè.

La crevasse principale est accompagnée sur une grande partie de son parcours par une deuxième ligne de crevasses plus petites dont la profondeur peut néanmoins dépasser 2 m par endroits..

La crevasse principale est caractérisée par des bords abrupts subparallèles et un très important rejet de la lèvre occidentale. Sa profondeur est souvent voisine de 10 m et sa largeur oscille entre 4 et 8 m environ; au nord de la pessièrè, ses dimensions sont plus discrètes. De nombreux blocs tombés des parois raides encombrant le fond de la crevasse (fig. 107, crevasse a et fig. 109). Des éboulements et des glissements se sont produits en de nombreux endroits et ont en partie altéré le profil de la crevasse. La coupe 4 (fig. 110), qui a été faite non loin de la coupe 3 (fig. 105) montre que les mouvements de terrain ont déjà réussi à combler localement la crevasse.

La correspondance entre le tracé de la crevasse et celui de la limite des concessions Grand Bois et Tillebièrg-Extension permet de conclure que cette dernière est à l'origine de la crevasse, d'autant plus que celle-ci s'arrête, au nord, avant la route de Lasauvage et, au sud, aux abords du vallon Groussen Dreisch, c'est-à-dire aux extrémités-mêmes de la concession Grand Bois. Les crevasses de talus, au contraire, se continuent d'un côté comme de l'autre du site Grand Bois et occupent l'ensemble du versant de la Crosnière (fig. 20 et 23).

Cette origine explique aussi les différences entre les formes des crevasses du talus, dues à l'appel au vide et à la détente des roches, et celles des crevasses du plateau qui résultent de l'action des forces de cisaillement agissant le long d'un bord ferme, en l'occurrence la limite entre les deux concessions dont le dépilage des couches a été décalé dans le temps.

Contrairement à celles du talus, les crevasses du plateau accusent un rejet important de celle des deux lèvres qui se trouve au-dessus de la mine la plus anciennement défilée (voir aussi la crevasse du site Pellestack - chap. 3.2), et les lèvres décalées ont l'allure de deux marches d'escalier. La composante verticale du déplacement est nettement plus importante que la composante horizontale, alors que c'est l'inverse pour les crevasses du talus.

Il est vrai que, nulle part ailleurs sur le plateau, une deuxième ligne de crevasses n'accompagne la première. Il faut admettre que c'est le passage de la limite des concessions non loin du sommet du versant qui a fait que les

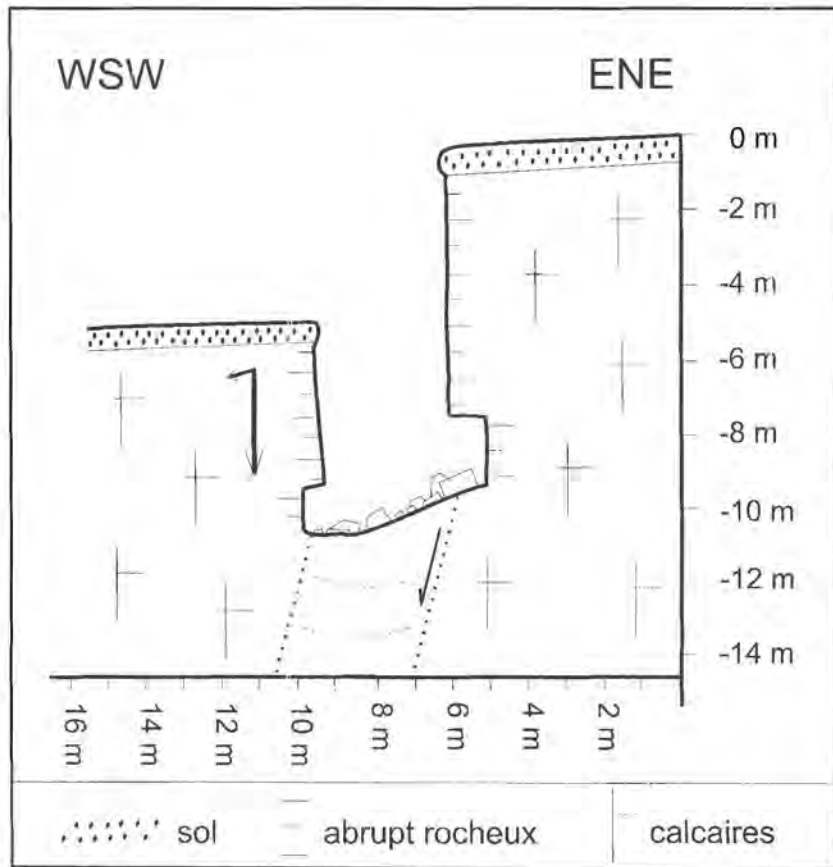


Figure 109: Coupe 3 à travers la crevasse de la bordure du plateau

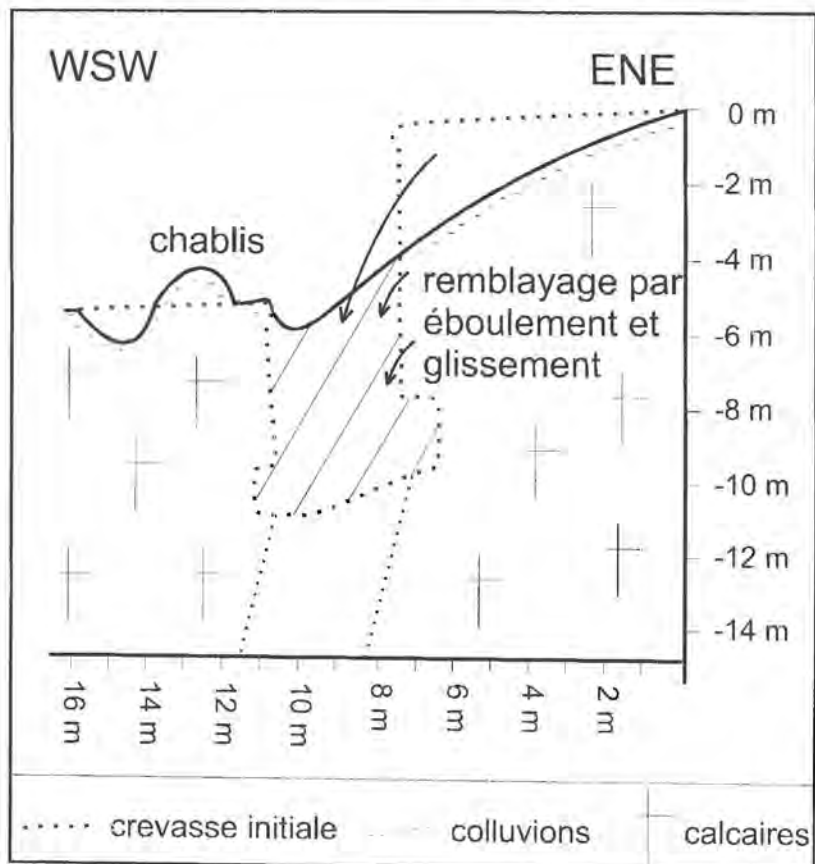


Figure 110: Coupe 4 à travers la crevasse de la bordure du plateau

effets de la topographie déclive y ont accentué l'instabilité des roches. Les crevasses de bordure de plateau du site Grand Bois peuvent être considérées comme un moyen terme entre les crevasses de plateau liées aux limites des concessions et les crevasses de talus dues à la détente des roches.

4.3.4 La pseudo-crevasse du vallon (G3)

Les formes de la "crevasse" du vallon Groussen Dreisch ne ressemblent guère à celles des deux réseaux analysés plus haut. Ici, nous sommes en présence d'une seule entaille qui prend son départ aux abords immédiats de la route C.R. 176 et s'étire, sans interruption, sur une distance de 150 m le long du chemin qui descend vers le stand de tir installé dans l'ancienne mine à ciel ouvert (fig. 103). Les formes de cette "crevasse" sont plus émoussées que celles des précédentes et l'état de la végétation montre que cette crevasse doit être beaucoup plus ancienne que les autres.

Le tracé de la "crevasse" est légèrement sinueux et, en tenant compte de la pente naturelle du versant du vallon à cet endroit, on ne peut pas parler d'un véritable rejet d'une des lèvres. Sa largeur est souvent voisine de 12 m. A certains endroits, la largeur augmente jusqu'à atteindre une vingtaine de mètres, mais le profil de la "crevasse" montre que des glissements rotationnels, qui se sont produits sur les bords, y sont responsables de cet élargissement. A d'autres endroits des étranglements diminuent la largeur de l'entaille.

La profondeur est souvent de l'ordre de 3 à 4 m, mais là encore des hauts-fonds interrompent à plusieurs endroits la régularité du fond. Les étranglements mentionnés plus hauts obligent souvent la ligne de plus grande profondeur à suivre un tracé sinueux.

Cette entaille ne peut pas être expliquée par les effets de l'effondrement minier. En effet, elle ne se situe pas sur le talus, mais occupe au contraire le fond du vallon, donc il ne peut pas s'agir d'un phénomène de détente. Son tracé ne correspond pas davantage à une limite de concession (fig. 105). Il s'agit en réalité d'une ancienne carrière de roches calcaires qui est représentée sur une carte topographique du début du 20^e siècle⁷¹. Des glissements intervenus sur les fronts de taille de la carrière ont à la fois irrégularisé les bords de la carrière et colmaté en partie son fond. Des glissements de type rotationnel peuvent en effet être identifiés à plusieurs endroits de la carrière. Ils ne sont cependant pas responsables de tous les étranglements. Dans certains cas, on opérerait plutôt pour des tas de déblais abandonnés sur place au fur et à mesure que les travaux d'extraction avançaient.

⁷¹ M. Franck, Topographische Karte des südwestlichen luxemburgischen Erzbeckens, non datée (établie vers 1905), rééditée en 1994 par les Amis de l'Histoire de Dillerdange

Conclusion

Le site Grand Bois regroupe en son sein trois types de "crevasses".

Les **crevasses du talus** confirment les résultats de l'analyse des crevasses du site Tételbiérg, à savoir que le pendage des couches dans le sens de la pente topographique et la présence d'un ciel-ouvert au pied du talus favorisent le développement des crevasses, à la fois en ce qui concerne leur nombre et leur taille.

Les **crevasses du plateau** sont - comme sur les autres sites du plateau (voir chap. 3.1 Baraque Bleue et 3.2 Pellestack) - liées à une limite de concessions. Le rejet de la lèvre qui se trouve au-dessus de la mine la plus anciennement défilée est important. Comme ces crevasses se trouvent, dans le cas du site Grand Bois, en bordure immédiate du plateau, les influences de la détente des roches interviennent en même temps que celles dues à l'inégalité des travaux d'extraction et font que les crevasses principales de bordure de plateau sont accompagnées par d'autres plus petites sises légèrement en contrebas du sommet du talus. Ces crevasses secondaires dépendent néanmoins indirectement des crevasses du plateau puisqu'elles les accompagnent fidèlement d'une extrémité à l'autre de la concession.

L'**entaille** qui est inscrite dans le **vallon** est en réalité une ancienne carrière du début du 20e siècle qui a dû être installée à cet endroit parce les roches calcaires y étaient plus facilement accessibles depuis le fond du vallon. Ce sont les glissements de terrain intervenus ultérieurement qui ont suffisamment altéré les bords et le fond de la carrière pour permettre de la confondre avec une crevasse.

4.4 Le puits du site Eisekaul

4.4.1 Le site

Le site Eisekaul se trouve au sud d'Esch-sur-Alzette entre les collines Holzebiérg et Hentzebiérg (fig. 25 et 111). Il correspond au fond plat d'une ancienne exploitation minière dans laquelle les couches ferrifères supérieures (rouges et jaunes) ont été exploitées à ciel ouvert⁷². L'altitude est de 325 m. Au SE du site se trouve l'embouchure d'une ancienne galerie de la mine Eisekaul. Le site se trouve dans le domaine du non concessible.

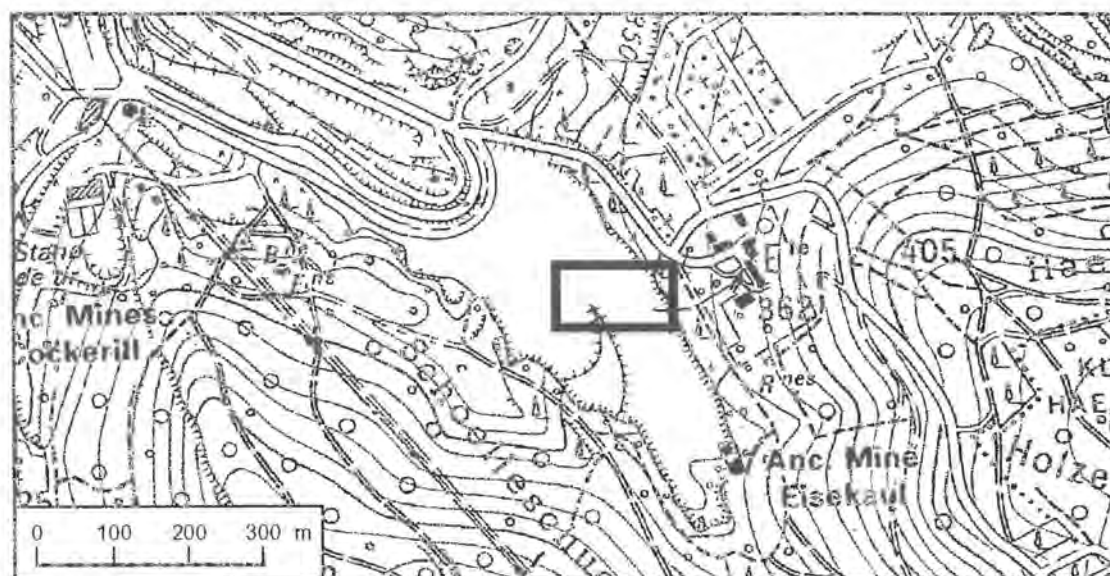


Figure 111: Le site Eisekaul (extrait de la carte topographique, 1:10 000, feuille 28D, Esch-sur-Alzette)

4.4.2 Le puits

Vers la mi-avril 1998, un affaissement s'est produit sur le site Eisekaul, au moment où des travaux de terrassement y furent exécutés en vue de la réalisation d'un terrain de sport⁷³. Le puits qui en a résulté fut comblé quelques semaines après son apparition.

Le puits se trouvait à hauteur de l'école en forêt, à 260 m de l'embouchure de l'ancienne mine Eisekaul et à 65 m du talus oriental bordant le site. Il était de forme elliptique (photo 19). Son axe longitudinal était de 45° E et avait une longueur de 11,3 m. Sa largeur était de 6,5 m (fig. §112). L'effondrement s'était produit dans une galerie qui restait visible aux deux extrémités du creux, à une profondeur d'environ 8 m (photo 20). La profondeur du puits

⁷² M. Lucius 1945, p. 173

⁷³ Luxemburger Wort du 23.4 1998

atteignait 9 m au nord-est et 8,5 m au sud-ouest. Au milieu, les débris accumulés réduisaient la profondeur à environ 5 m. Les parois du puits étaient subverticales. Les côtés NE, SW et NW avaient un profil irrégulier caractérisé par une partie supérieure en arc de cercle et une partie inférieure droite ou en léger surplomb (fig. 113 et 114).

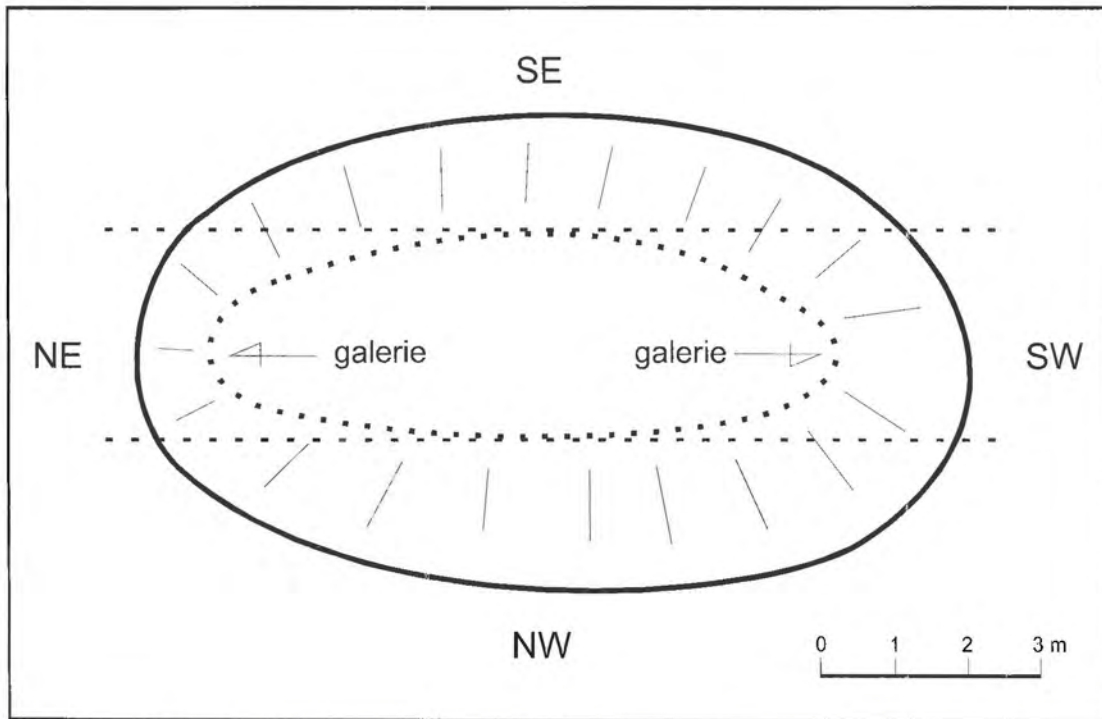


Figure 112: Le puits du site Eisekaul en plan



Photo 19: Le puits du site Eisekaul, grand axe 11,3 m (A. Storoni, avril 1998)

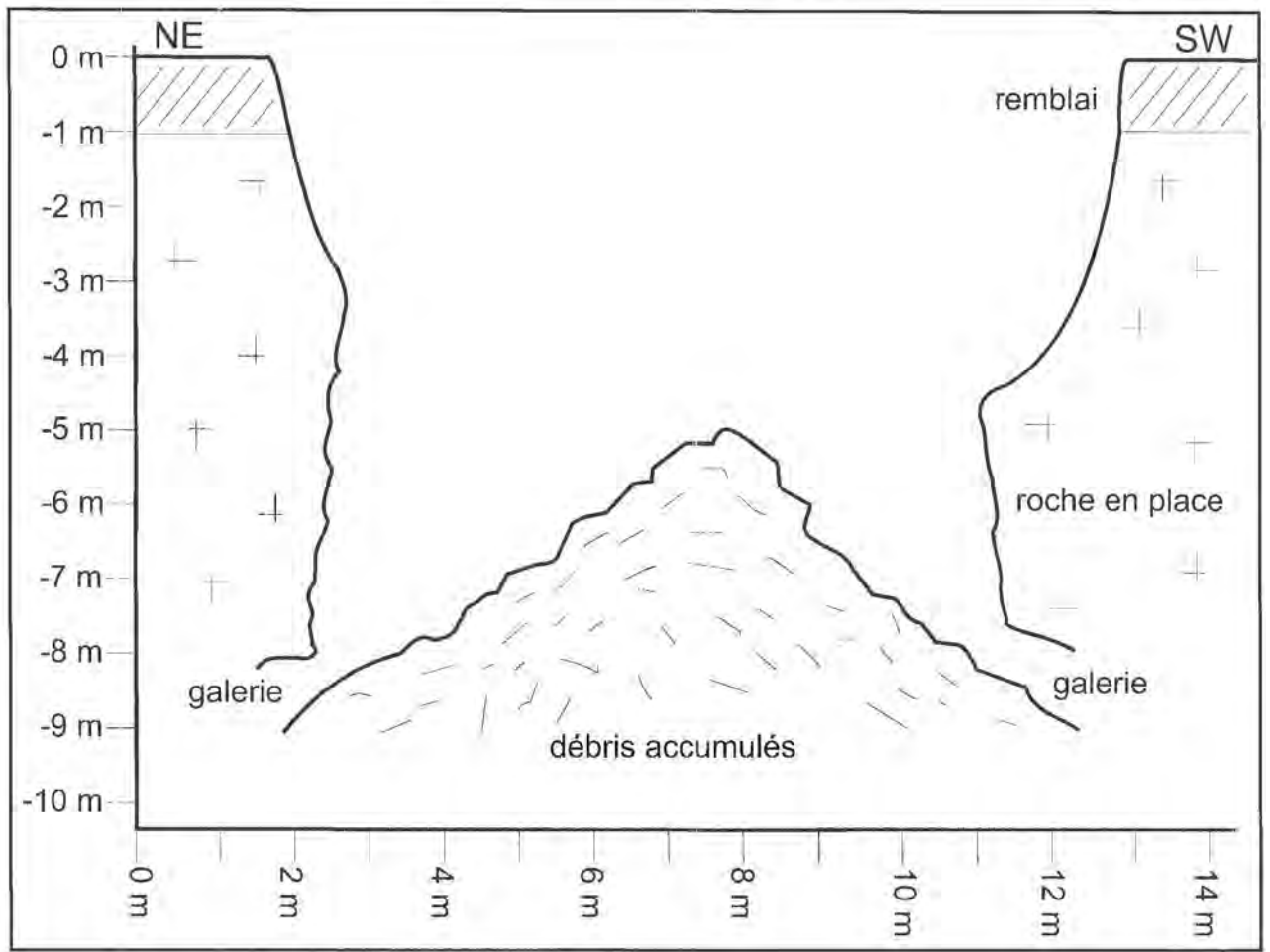


Figure 113: Coupe NE-SW à travers le puits du site Eisekaul

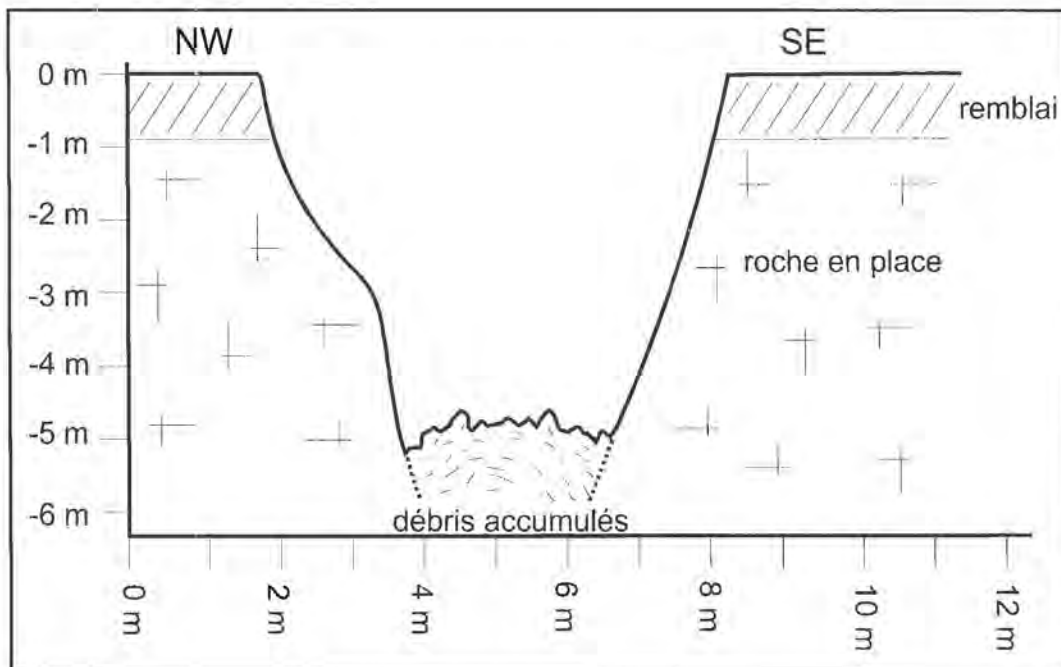


Figure 114: Coupe NW-SE à travers le puits du site Eisekaul



Photo 20: La galerie au fond du puits du site Eisekaul (A. Storoni, avril 1998)

La localisation du puits par rapport à la géométrie de la mine⁷⁴ de la couche grise montre que le puits se trouvait au-dessus d'un embranchement de galerie qui ne figure pas encore sur le plan d'exploitation. Cependant la direction du puits parallèle aux autres embranchements et la présence, au bout de la galerie d'accès, d'un point de triangulation destiné à définir la direction de la galerie latérale, suggèrent la réalisation ultérieure de cet embranchement (fig. 115). C'est cette galerie orientée, comme le puits, selon la direction SW-NE, qui était visible de la surface après l'affaissement.

Au cours des jours qui ont suivi l'affaissement initial, le diamètre du puits s'est peu à peu agrandi à la suite de glissements successifs qui s'étaient annoncés par l'apparition de fentes parallèles aux bords. Les niches d'arrachage de la partie supérieure de trois des quatre côtés du puits sont le

⁷⁴ Plan annexé à une demande d'exploitation du 10 mai 1929 (Inspection du Travail et des Mines)

résultat de glissements par rotation (fig. 113 et 114). Lorsque, quelques semaines après son apparition, le puits fut colmaté, de nouvelles fentes de tension étaient apparues, qui auraient probablement donné lieu à de nouveaux glissements sur les bords.

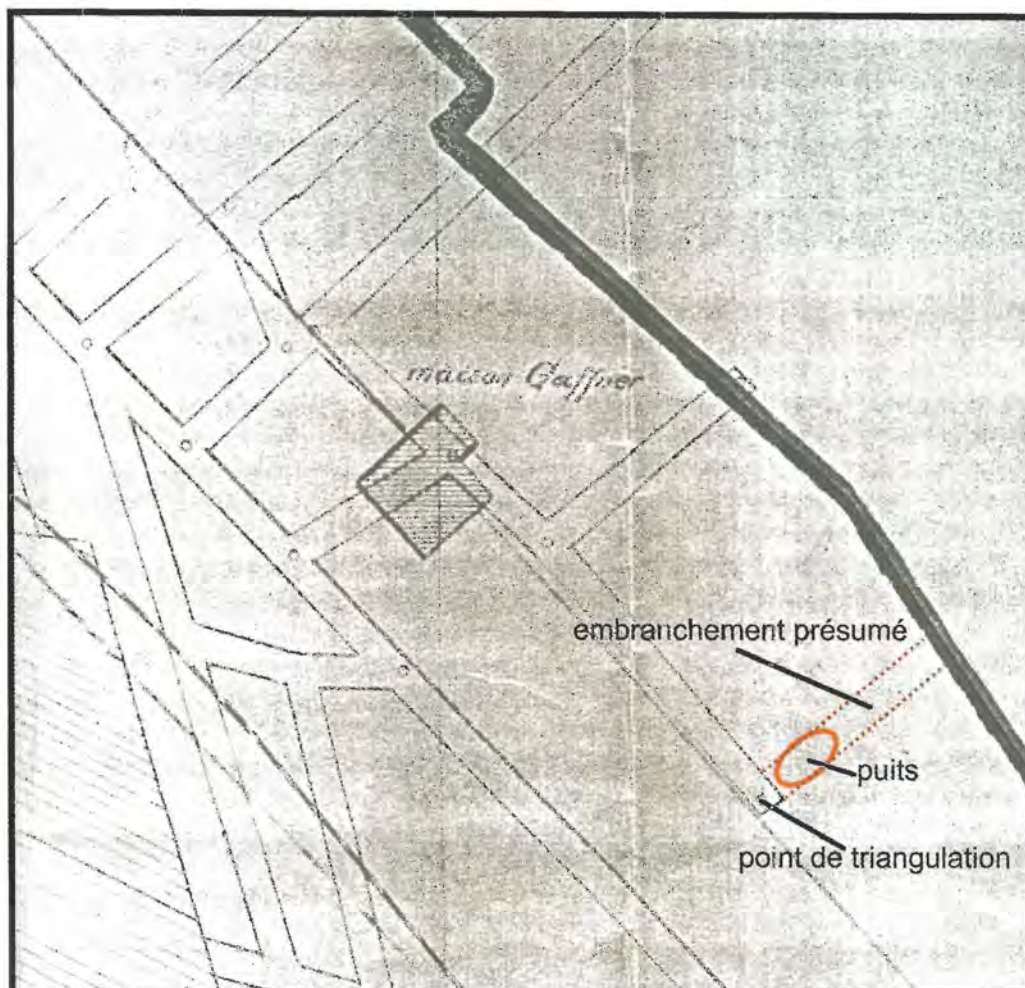


Figure 115: La localisation du puits du site Eisekaul par rapport à la géométrie de la mine

Conclusion

Le puits qui est apparu sur le site Eisekaul a les mêmes origines que les entonnoirs qui se trouvent ailleurs dans le bassin, mais, à cause de la faiblesse du recouvrement, la galerie n'a été que partiellement comblée et restait visible depuis la surface.

La forme elliptique de l'entonnoir est le résultat de l'effondrement du toit dans une galerie dont les parois restées intactes empêchaient l'épanchement latéral des roches, alors que celui-ci pouvait se faire librement dans la direction de la galerie. Ceci confirme les hypothèses formulées

précédemment à l'égard des entonnoirs de ce type (voir chap. 3.1 - Baraque Bleue).

Le site Eisekaul montre aussi que des travaux de génie civil effectués sur des terrains "minés" par l'exploitation souterraine, peuvent, le cas échéant, en favoriser l'effondrement.



Photo 21: Le puits du site Eisekaul remblayé quelques semaines après son apparition (A. Storoni, mai 1998)

Troisième partie:

Essai de typologie génétique des
formes d'affaissement

Chapitre 5

Les entonnoirs et les puits

d'affaissement

5.1 Le mécanisme général: la relation mine-surface

Les entonnoirs sont les formes d'affaissement les plus répandues du bassin minier luxembourgeois. Leur prédominance s'explique par l'application généralisée de la méthode du dépilage qui ne donne pas lieu à un défrêtement complet mais à des cavités minières plus ou moins circonscrites où l'extraction du minerai reste souvent partielle pour des raisons inhérentes à ce type d'exploitation: piliers latéraux protégeant les galeries, piliers de limite de concession, stots de protection sous les routes et les fermes, exploitation à piliers perdus, etc.

5.1.1 La densité des entonnoirs

Lorsque des effondrements localisés se produisent dans une mine, ils donnent naissance à une cheminée qui remonte progressivement vers la surface. Elle n'y aboutit cependant pas dans tous les cas, car la propagation de l'effondrement peut être arrêtée, soit définitivement soit provisoirement, par la présence d'une roche plus résistante dans les couches de recouvrement (fig. 116 a), par l'ampleur du foisonnement (augmentation du volume par fragmentation de la roche) (fig. 116 b) ou par la formation d'une voûte stable dans les couches de recouvrement. (fig. 116 d).

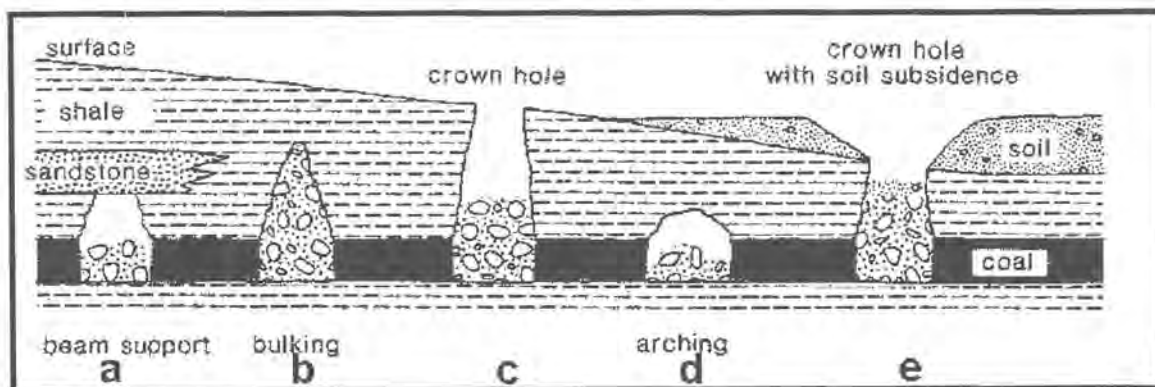


Figure 116: L'effondrement au fond et ses répercussions en surface dans des mines de charbon partiellement exploitées⁷⁵ (d'après A. Waltham, 1989, p. 81)

Effondrements stabilisés en profondeur par la présence d'une roche résistante (a), par l'ampleur du foisonnement (b), ou par effet de voûte (d)

Effondrements atteignant la surface sous forme de puits (c) ou sous forme d'entonnoir (e)

⁷⁵ Les exemples cités dans la littérature spécialisée se rapportent, pour la plupart, aux mines de charbon beaucoup plus répandues que les mines ferrifères. Les exemples cités dans la présente étude se rapportent, sans exception, à des mines exploitées par la méthode des chambres et piliers.

La densité des entonnoirs sur un site donné dépend de l'épaisseur du recouvrement. D'après A. Waltham (1994), les entonnoirs d'affaissement sont rares aux endroits où l'épaisseur du recouvrement est supérieure à 30 m ou excède dix fois la hauteur de la mine. C. Dunrud (1984) retient dix à quinze fois l'épaisseur de la mine comme valeur maximale du recouvrement.

Dans le bassin ferrifère luxembourgeois, les entonnoirs se rencontrent – en grand nombre à tous les niveaux, aussi bien sur les replats où l'épaisseur du recouvrement n'excède guère 10 m, que sur le plateau où elle peut en atteindre 80.

La raison de l'omniprésence des entonnoirs dans le bassin minier luxembourgeois doit être cherchée dans la nature des couches de recouvrement qui sont assez homogènes et se composent pour l'essentiel de calcaires très fissurés⁷⁶, interrompus seulement par quelques couches marneuses peu résistantes.

La densité des entonnoirs sur un site donné dépend également du taux de défrèvement. Lorsque de nombreux piliers ont été laissés en place – comme par exemple dans la mine Tillebiérg-Extension du site Baraque Bleue (chap. 3.1) –, les entonnoirs sont peu nombreux et relativement espacés. Au contraire, au-dessus d'une mine à défrèvement plus important, comme celle de la concession Grand Bois du site Pellestack (chap. 3.2), les entonnoirs sont nombreux et occupent la majeure partie de la surface du site. Il n'est d'ailleurs pas certain que les minces lanières de plateau qui subsistent entre les creux n'aient pas elles-mêmes subi un affaissement de quelques décimètres qui, en l'absence d'arrachements du terrain, n'est pas décelable en surface.

Les autres facteurs qui auraient pu intervenir pour influencer la densité inégale des affaissements sur les deux sites sont comparables: relief de plateau subhorizontal, épaisseur des couches de couverture de même ordre de grandeur (65 met 80 m)⁷⁷, épaisseur de la couche ferrifère supérieure (couche rouge) comprise entre 2 et 3 m, exploitation remontant aux années 1920 à 1930.

Toutefois, même dans le cas du site Pellestack, le tracé des chantiers dépilés transparaît en surface (chap. 3.2, fig. 56), et on peut faire correspondre les affaissements et les lignes dominantes de la trame minière. Cette correspondance entre la répartition des entonnoirs et l'agencement des chantiers a été vérifiée également au-dessus de nombreuses mines étrangères exploitées par la méthode des chambres et piliers (fig. 117). Ce phénomène s'explique, en partie du moins, par le fait que, les roches des derniers piliers à avoir été foudroyés n'ayant pas pu être évacuées pour des raisons de sécurité, il subsiste, au milieu des chantiers dépilés, des zones de

⁷⁶ On peut aisément observer les réseaux serrés de diaclases et de joints de stratification sur les nombreux fronts de taille des ciel-ouvert du Luxembourg.

⁷⁷ A noter que le recouvrement est plus épais sur le site Pellestack où les affaissements sont très nombreux.

discontinuité qui, même si elles n'empêchent pas la subsidence de se produire à ces endroits, en diminuent néanmoins l'ampleur (fig. 119).

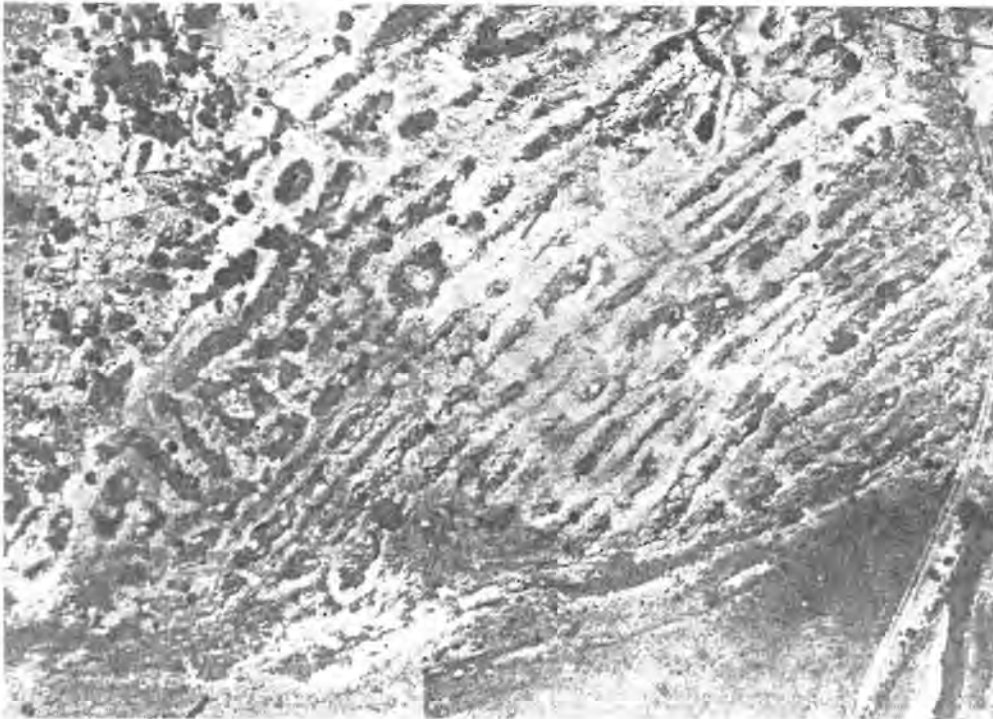


Figure 117: Entonnoirs traduisant la géométrie d'une mine de charbon du Colorado exploitée par la méthode des chambres et piliers (D. Coates 1987, p. 176)

5.1.2 Les dimensions des entonnoirs

Les dimensions des entonnoirs sont liées à celles des cavités minières dont le toit s'est effondré. Les plus grands entonnoirs se situent au-dessus des endroits où l'étendue du toit suspendu entre les bords fermes est maximale. Dans le cas du site Baraque Bleue, par exemple, les entonnoirs qui ont le plus grand diamètre et la plus grande profondeur se trouvent au-dessus des jonctions de galeries de roulage et, dans une moindre mesure, au-dessus des embranchements des chantiers (chap. 3.1, fig. 40).

A ces endroits, la largeur du toit non soutenu est plus grande qu'au-dessus des tronçons droits des galeries (fig. 119 et 121). En plus, dans les galeries à embranchements obliques, les piliers qui se terminent en coin s'effritent plus facilement sous l'effet de la pression du toit. En s'amincissant, les piliers augmentent la portée de la voûte, ce qui favorise l'éboulement du fait. C'est également à ces endroits que l'espace pouvant être occupé par les roches éboulées est maximal, puisque les roches peuvent glisser dans les ouvertures des quatre tronçons de galeries qui s'y rejoignent.

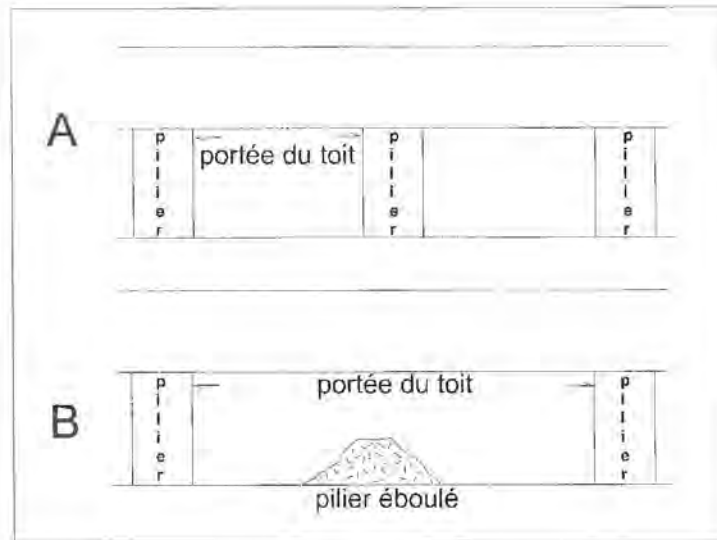


Figure 118: Le rôle des piliers résiduels dans le développement des affaissements

En A: la portée du toit non soutenu est faible, le risque d'un éboulement est réduit

En B: la portée du toit non soutenu a augmenté en même temps que le risque d'effondrement; les matériaux du pilier écroulé occupent une partie de la cavité minière dans laquelle vont tomber, le cas échéant, les roches du recouvrement

Au-dessus des chantiers dépilés, l'ampleur de l'affaissement dépend de la qualité du dépilage, car chaque pilier qui reste en place réduit d'abord la portée de la voûte et, en s'effondrant éventuellement plus tard, diminue le volume de la cavité dans laquelle peuvent s'ébouler les roches du toit.

En principe, le **diamètre des entonnoirs** est fonction du cylindre d'affaissement qui remonte vers la surface. D'après B. Whittaker et J. Reddish (1989), pour une largeur w de la galerie, le diamètre de la cheminée est compris entre w et $w\sqrt{2}$ (fig. 119).

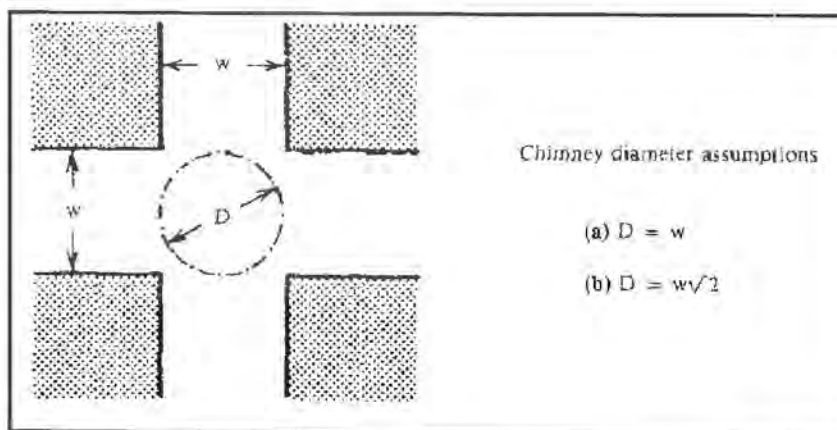


Figure 119: Le diamètre de la cheminée de subsidence et les dimensions des cavités minières sous-jacentes (B. Whittaker et J. Reddish, 1989, p. 192)

Pour un entonnoir situé au-dessus d'une jonction de galeries qui se recoupent à angle droit, on pourrait donc déterminer approximativement le diamètre de la cheminée en appliquant la formule

$$\text{diamètre} = w \cdot \sqrt{2} \quad (1)$$

Comme, dans les mines luxembourgeoises, l'intersection des galeries ne se fait pas - ou du moins très rarement - à angle droit, la formule modifiée en conséquence devient:

$$\text{diamètre} = w \cdot \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha} \quad (2)$$

(w = largeur de la galerie, α = angle que forment les galeries entre elles)

Si un entonnoir se développe dans une roche compacte, couverte d'une faible épaisseur de sédiments meubles, le diamètre de l'entonnoir correspond plus ou moins à celui de la cheminée (fig. 116 c). C'était notamment le cas du puits du site Eisekaul (chap. 4.4).

Si le manteau au-dessus de la roche en place est épais, le creux d'affaissement prend la forme d'un entonnoir évasé, à la suite du glissement des sédiments de couverture dans la cheminée (fig. 116 e). C'est le cas de la majorité des entonnoirs du bassin minier.

En appliquant) la formule (2)⁷⁸ à l'entonnoir n° 1 du site Baraque Bleue (chap. 3.1, fig. 35), on trouve, pour la cheminée, un diamètre théorique de 4,6 m. Le diamètre réel de l'entonnoir étant de 9 m, la différence entre le diamètre de la cheminée et celui de l'entonnoir (4,4 m) doit être imputable aux effets des glissements. La présence d'un épaulement sur les pentes de cet entonnoir fait penser à un glissement rotationnel qui se serait opéré dans la roche en place. Le front de l'épaulement se situe à 2,2 m du bord méridional de l'entonnoir, ce qui correspond exactement à la moitié de la partie du diamètre imputable aux glissements. On peut donc admettre que le bord de l'épaulement coïncide avec celui de la cheminée d'affaissement.

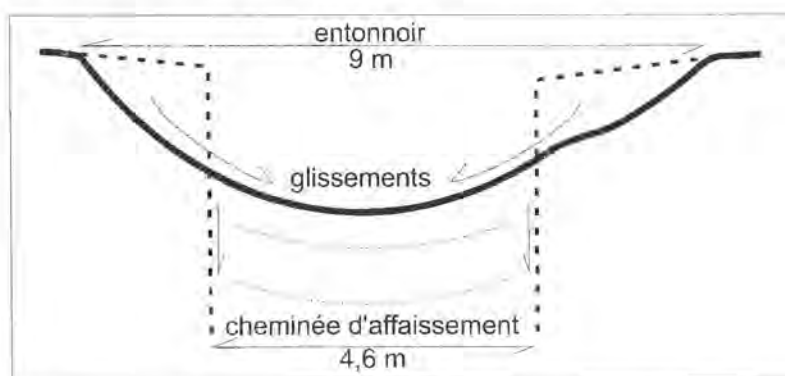


Figure 120: La formation de l'entonnoir n° 1 du site Baraque Bleue sous l'influence des mouvements de masse verticaux et horizontaux

⁷⁸ L'angle formé par les deux galeries est de 60°.

La **profondeur des entonnoirs** dépend surtout de la hauteur de la cavité minière sous-jacente. Mais deux autres facteurs interviennent pour en changer les valeurs, à savoir le foisonnement et l'épanchement⁷⁹ de la roche éboulée (fig. 121 et 122):

- le foisonnement

En s'ébouyant, les roches de couverture sont délitées et se fragmentent. Leur volume augmente et arrive à compenser une partie du volume de la cavité minière. La profondeur de l'entonnoir en est diminuée. L'augmentation du volume de la roche se situe en règle générale entre 25 et 50 % (E. Tincelin, 1957; C. Dunrud, 1984; A. Waltham 1989)

- l'épanchement

En glissant dans les cavités minières restées intactes au voisinage d'un éboulement, les roches en remplissent une partie en formant un talus de repos (photo 23) dont la pente dépend de la taille des blocs éboulés. Cet épanchement augmente la profondeur potentielle de l'entonnoir en évacuant du cylindre d'affaissement une partie des roches qui se sont effondrées.

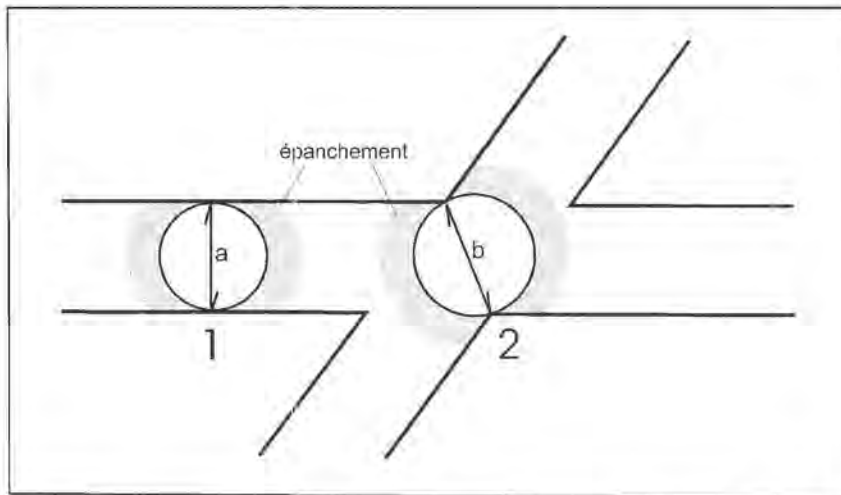


Figure 121: La largeur du toit suspendu et l'épanchement des roches éboulées en relation avec le type de cavités minières

En 1: la largeur du toit suspendu correspond à la largeur de la galerie (a); l'épanchement des roches éboulées ne peut se faire que dans le sens de la galerie, les roches éboulées étant bloquées latéralement par les parements

En 2: la largeur du toit non soutenu est plus grande ($b > a$); l'épanchement des roches peut se faire à la fois dans la galerie principale et dans la galerie secondaire

⁷⁹ "Épanchement" n'est pas un terme consacré, car le phénomène du glissement latéral n'est que rarement décrit. Nous l'avons forgé à partir de l'expression "s'épandre dans l'excavation" utilisée par R. Haby (1970).

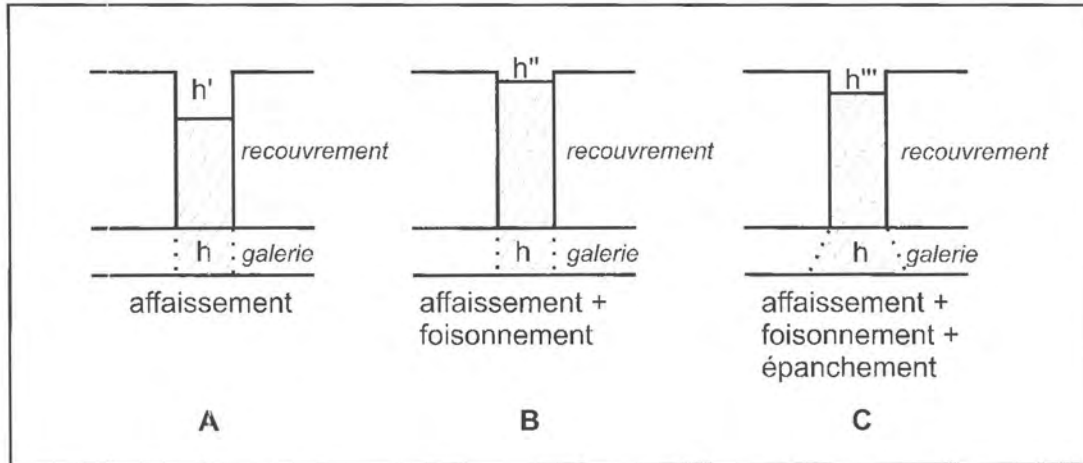


Figure 122: L'influence du foisonnement et de l'épanchement des roches sur la profondeur des entonnoirs

En A: situation théorique sans foisonnement ni épanchement: $h' = h$

En B: situation théorique avec foisonnement des roches mais sans épanchement: $h'' < h'$

En C: situation réelle avec foisonnement et épanchement des roches: $h'' < h''' < h''$



Photo 22: Effondrement du toit et épanchement des roches, dans la mine Dhoil près de Rodange (Photo A. Storoni, mai 1995)

Tous les auteurs s'accordent à dire que l'affaissement maximal est fonction de la hauteur de la mine et de la nature des terrains de recouvrement. C. Down et J. Stocks (1977) cite une formule utilisée couramment pour prédire l'importance de la subsidence en surface :

$$S_{\max} = am$$

où m est la hauteur de la mine et a un facteur de subsidence qui varie en fonction des conditions locales.

D'après cette formule, la profondeur devrait être plus ou moins la même pour tous les entonnoirs d'un même site, d'autant plus que, au Luxembourg, les concessions sont petites et les conditions d'exploitation comme les données du milieu naturel changent peu d'un endroit à l'autre d'une même mine. Aux lieux-dits Härebësch (fig. 20) et Kalebiërg (fig. 28), par exemple, les entonnoirs ont, chaque fois, plus ou moins la même profondeur. Mais, dans la plupart des cas, les profondeurs des entonnoirs sont plus contrastées (chap. 3.1 - site Baraque Bleue; chap. 3.2 - site Pellestack, chap. 4.1 - Kalebiërg). Ces différences sont dues aux variations que peuvent subir la hauteur de la mine et l'épaisseur du recouvrement⁸⁰ :

- la hauteur de la mine

Parfois deux couches superposées ont été exploitées ensemble, lorsque la couche intercalaire était peu développée. La hauteur de la cavité minière correspondait alors aux épaisseurs cumulées des trois couches. C'est sans doute cette dernière situation qui a été responsable de la grande profondeur de l'entonnoir localisé au fond de l'étang n° 1 du site Tëtelbiërg (chap. 4.2).

Au contraire, comme il a été dit précédemment, le remplissage résiduel pouvait diminuer la hauteur de la cavité minière au-dessus des chantiers incomplètement défruités.

- l'épaisseur du recouvrement

Les variations de l'épaisseur du recouvrement sont importantes sur les sites de talus, puisque le foisonnement des roches est fonction de l'épaisseur des couches de couverture. Si la hauteur de la mine reste constante, le rejet en surface est donc plus faible vers l'amont du talus, où le foisonnement est plus important, que vers l'aval, où il l'est moins (fig. 123).

Comme la valeur de l'épanchement ne dépend que de la configuration de la cavité minière dans laquelle se produit l'éboulement, alors que celle du

⁸⁰ La nature des roches joue également un rôle. La valeur du foisonnement est, par exemple, plus petite dans les roches tendres, comme les argilites, que dans les roches dures, comme les grès et les calcaires (C. Dunrud, 1984). Mais, au Luxembourg, la nature des roches de couverture reste assez constante d'un endroit à l'autre du bassin ferrifère.

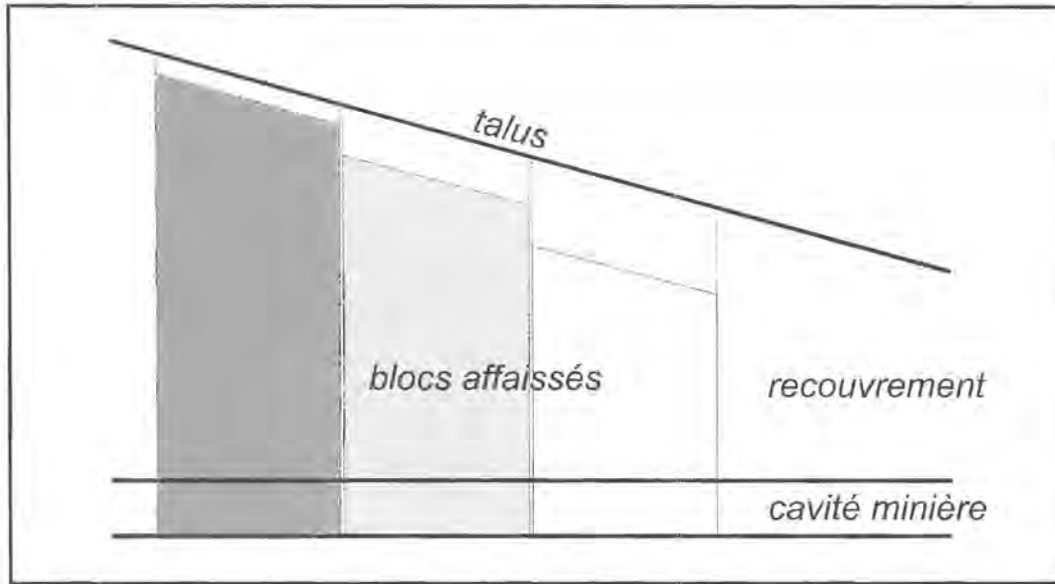


Figure 123: L'épaisseur du recouvrement et la valeur inégale du foisonnement des roches sur les surfaces topographiques en pente

Le foisonnement est fonction de l'épaisseur des tranches de recouvrement: plus il est important, moindre est le rejet de la cavité de surface

foisonnement varie en fonction de l'épaisseur du recouvrement, le rôle de l'épanchement diminue en même temps que l'épaisseur des couches de couverture augmente. C'est probablement pour cette raison que l'influence de l'épanchement n'est pour ainsi dire jamais prise en considération dans l'analyse des affaissements lorrains ou autres. L'épanchement ne joue un rôle important que là où le recouvrement est très faible, comme c'est, en général, le cas au Luxembourg.

Toutefois, dans les mines très peu profondes où le foisonnement ne joue qu'un rôle secondaire, l'importance de l'épanchement peut être telle que la profondeur de l'entonnoir devient plus grande que la hauteur de la mine: C'était le cas, par exemple, pour le puits du site Eisekaul (chap. 4.4).

5.2 Les différents types d'entonnoirs

5.2.1 Les puits, formes initiales éphémères

Les puits aux parois subverticales sont rares dans le bassin minier luxembourgeois. A l'heure actuelle, on ne peut en observer qu'à peine une demi-douzaine. Ils sont tous de formation récente; deux d'entre eux sont apparus au cours des trois dernières années.

Les puits peuvent être circulaires ou elliptiques à leur apparition ou avoir les formes d'un quadrilatère irrégulier. On peut les classer en trois catégories:

a) les puits authentiques

Ils résultent directement de l'éboulement du toit de la mine. Les galeries d'exploitation sont visibles depuis la surface (photo 23). On rencontre ces puits uniquement aux endroits où les couches de recouvrement sont peu épaisses, en l'occurrence sur le replat aalénien du bassin d'Esch-sur-Alzette.



Photo 23: Galerie apparente au fond d'un puits au lieu-dit Laangebiereg près de Dudelange

Le puits du site Eisekaul (chap. 4.4) et celui qui se trouve au lieu-dit Laangebiërg (fig. 29) appartiennent à ce type. Le premier a été comblé peu après son apparition; le second est en train de prendre peu à peu - sous les effets des mouvements de terrain - les formes d'un entonnoir (chap. 8.1).

b) les puits-diaclases

On les trouve sur le site Longues Raies (chap. 3.3) où le recouvrement n'atteint qu'une trentaine de mètres d'épaisseur et sur le replat aalénien, au lieu-dit Herenterbiërg (fig. 30). Des fissures béantes se trouvent à proximité des puits. On peut admettre que l'ouverture rectangulaire a été déterminée par le jeu des diaclases sollicitées par les tensions générées à la suite des éboulements au fond. Par analogie avec les grottes-diaclases, on pourrait appeler ces formes d'affaissement des "puits-diaclases".

Sur le replat bajocien, où le recouvrement est souvent à peine plus important que sur le replat aalénien, on ne trouve pas de puits. Ici, les marnes micacées ont glissé dans les creux d'affaissement au fur et à mesure que ceux-ci apparaissaient et leur ont conféré la forme d'entonnoirs.

c) les entonnoirs-puits

Sur le site Kalebiërg, deux creux d'affaissement récents ont des formes intermédiaires entre les entonnoirs et les puits. La partie supérieure de ces entonnoirs est formée d'abrupts rocheux verticaux ou en surplomb, alors que la partie inférieure des parois a des pentes moins fortes. Ces entonnoirs-puits sont en train d'évoluer vers des entonnoirs elliptiques de talus (chap. 4.1 - Kalebiërg).

On peut dire, d'une façon générale, que les puits sont des formes éphémères. Au cours des deux dernières années, le toit au-dessus de l'ouverture de la galerie du puits Laangebiërg s'est progressivement affaissé, au point de ne plus laisser apparaître qu'une petite partie de la galerie. Il est prévisible que cette ouverture finira par disparaître sous peu. Déjà maintenant, les parois rocheuses ne restent visibles que sur deux côtés du puits, alors que sur les deux autres côtés, les mouvements de terrain ont déjà sensiblement remodelés les pentes (chap. 8.1).

Le puits du site Eisekaul a été comblé quelques semaines après son apparition et n'a donc pas pu évoluer naturellement. Toutefois, des fissures de couronne étaient déjà apparues sur tous les bords du puits et des glissements successifs en avaient élargi l'ouverture. Le profil des pentes du puits témoignait de glissements rotationnels qui s'y étaient produits (fig. 124 à gauche). N'eût été le remblayage artificiel, le puits aurait sans doute été transformé tôt ou tard en entonnoir elliptique dont le fond remblayé aurait caché l'ouverture des galeries (fig. 124 à droite).

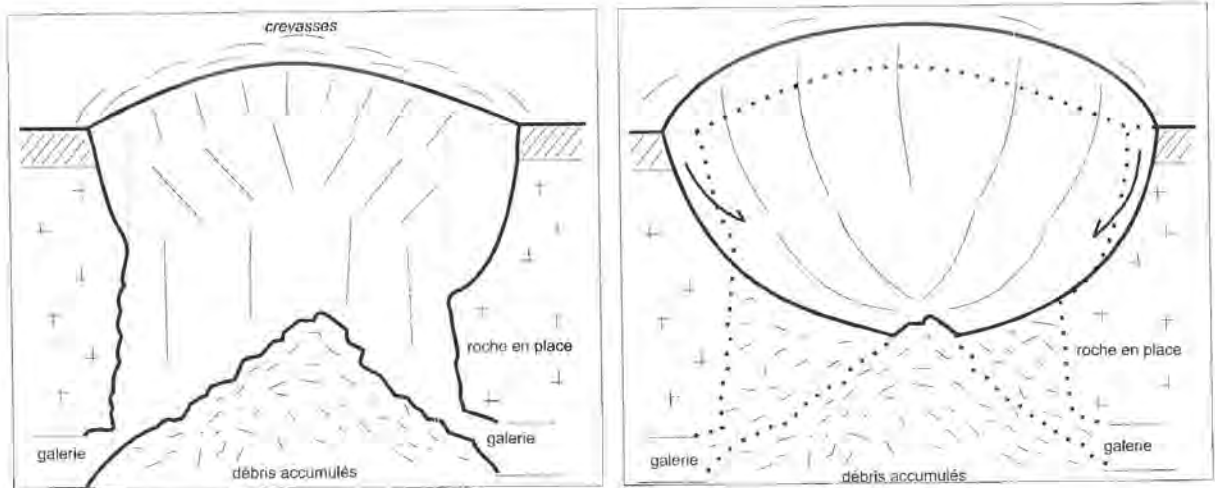


Figure 124: L'évolution probable du puits du site Eisekaul s'il n'avait pas été artificiellement remblayé

5.2.2 Les entonnoirs circulaires, formes isolées et pionnières

Les entonnoirs circulaires dominent là où la surface du terrain est plane ou en pente légère, c'est-à-dire sur les plateaux et sur les replats. Lorsque la valeur des pentes augmente ils sont le plus souvent remplacés par des entonnoirs elliptiques (chap. 5.2.3).

La forme des entonnoirs circulaires est en général conique, et ils ont souvent une profondeur de l'ordre de 2 m. En prenant une hauteur moyenne des galeries de 3 m et en tenant compte du fait que, depuis leur apparition, la profondeur des entonnoirs a diminué à la suite de mouvements de terrain sur leurs pentes, la profondeur des entonnoirs correspond aux deux tiers environ de la hauteur de la mine, ce qui est conforme aux valeurs trouvées en Lorraine voisine.⁸¹

Sur certains sites du plateau, les entonnoirs circulaires sont seuls représentés ou dominant très largement. Sur le plateau du lieu-dit Kalebiert, par exemple, une douzaine de grands entonnoirs s'étirent du SW au NE (fig. 28). Il n'y a pas d'entonnoirs d'un autre type à proximité. L'alignement de ces entonnoirs correspond à celui des galeries sous-jacentes⁸².

Ailleurs, les entonnoirs sont encore bien représentés mais deviennent minoritaires par rapport aux entonnoirs elliptiques et coalescents. C'est le cas du site Baraque Bleue (chap. 3.1) dont la mine a été incomplètement dépillée.

⁸¹ E. Tincelin, 1957 et G. Dalstein, 1994 donnent pour les mines lorraines des valeurs de subsidence en surface de l'ordre de la moitié aux deux tiers de la hauteur des mines.

⁸² D'après un plan d'exploitation de la couche jaune de la mine Kalléckfeld annexé à une autorisation d'exploitation du 19 novembre 1929 (Source: Inspection du Travail et des Mines)

Lorsque la densité des creux de subsidence devient grande, les entonnoirs elliptiques (chap. 5.2.3) et coalescents (chap. 5.2.4) remplacent presque totalement les entonnoirs circulaires. Sur le site Pellestack (chap. 3.2), par exemple, les entonnoirs circulaires ont pratiquement disparu en tant que formes isolées, car ils ont été intégrés dans la trame des entonnoirs coalescents. Au contraire, à peu de distance de ce site, là où la densité des creux d'affaissement diminue, le nombre des entonnoirs circulaires augmente de nouveau.

On peut en conclure que les entonnoirs circulaires sont des formes à la fois isolées et pionnières dont la proportion diminue au fur et à mesure que le nombre total des creux augmente (un plus grand nombre d'entonnoirs deviennent alors coalescents) et en fonction du temps écoulé depuis leur apparition (les mouvements de masse sur les pentes changent la forme des entonnoirs).

S'ils sont absents du talus bajocien, les entonnoirs circulaires réapparaissent en grand nombre à proximité et sur le replat des marnes micacées⁸³. Ils y sont souvent alignés: lieux-dits Härebësch (fig. 20), Tételberg (fig. 21), Holleschberg (fig. 27). Leur grand nombre s'explique par la faiblesse du recouvrement qui diminue progressivement le long de la pente et augmente la chance de voir des éboulements au fond se propager jusqu'à la surface. D'après B. Whittaker et J. Reddish (1989) la formation des entonnoirs est facilitée également à ces endroits par le fort degré d'altération des roches proches de la surface (fig. 125).

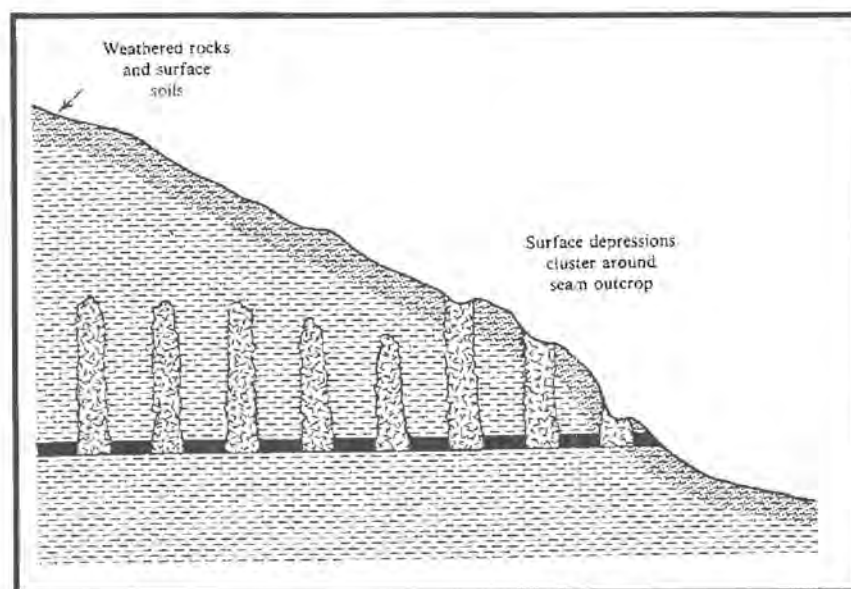


Figure 125: Le développement des entonnoirs de pente (B. Whittaker et J. Reddish, 1989, p. 258)

L'épaisseur des roches de couverture non altérées diminue progressivement vers le bas du talus, facilitant ainsi l'apparition d'entonnoirs à proximité de la zone d'affleurement des couches ferrifères.

⁸³ En amont du replat, les entonnoirs adoptent un plan elliptique.

L'alignement des entonnoirs sur les courbes de niveau tient de la géométrie des mines souterraines qui, situées dans le domaine du non concessible entre la limite du concessible et les ciel-ouvert de flanc de coteau, ont, en général, des galeries de roulage parallèles à ces deux limites. A l'intersection des galeries de roulage et des chantiers se forment alors des entonnoirs plus ou moins alignés et calqués sur les courbes de niveau.

5.2.3 Une variante: les entonnoirs elliptiques

Deux types d'entonnoirs à plan elliptique se rencontrent dans le bassin minier: les uns surtout sur les plateaux et les replats, les autres exclusivement sur les talus.

5.2.3.1 Les entonnoirs elliptiques de plateau

En topographie plane, les entonnoirs elliptiques (et les puits) apparaissent au-dessus des galeries protégées par des piliers latéraux, comme le puits du site Eisekaul (chap. 4.4) et les entonnoirs elliptiques du site Baraque Bleue (chap. 3.1). Leur profondeur est, du moins sur le plateau où le recouvrement est important, nettement inférieure à celle des entonnoirs circulaires qui se trouvent aux mêmes endroits. Par exemple, la profondeur moyenne des entonnoirs elliptiques du site Baraque Bleue est de 1,1 m contre 5,1 m pour les entonnoirs circulaires. La responsabilité en revient, en partie, à un épanchement plus faible des roches de recouvrement étant donné que celui-ci ne peut se faire que dans la direction de la galerie (fig. 119).

Les entonnoirs elliptiques du plateau ont, par rapport aux entonnoirs circulaires, plus souvent un fond plat ou légèrement ondulé. Leurs bords plus émoussés montrent que des mouvements de terrain (glissements et reptation) ont pu, le temps aidant, adoucir les pentes et remplir en partie le fond des entonnoirs, ce qui a contribué également à en diminuer la profondeur.

Les glissements sur les pentes sont favorisés dans le cas des entonnoirs elliptiques par le fait que leur profondeur est, au départ, plus faible et que leurs bords sont donc développés dans le sol et le régolite qui sont davantage exposés aux glissements. Les fonds des entonnoirs circulaires, plus profonds, sont développés aussi dans la partie saine de la roche et leurs bords résistent mieux aux effets de ces types de mouvement de terrain.

Toutefois, un entonnoir circulaire profond peut également prendre peu à peu une forme elliptique si des glissements rotationnels, initiés dans les roches calcaires fissurées, se forment de préférence sur un des bords ou sur les bords opposés (chap. 3.3 - site Longues Raies).



Photo 24: Glissement rotationnel sur le bord d'un entonnoir du site Longues Raies (Photo A. Storoni, juillet 1997)

Le glissement a contribué à modifier le plan de l'entonnoir. La photo 24 montre l'extrémité N de l'entonnoir n° 3 du site Longues Raies (chap. 3.3, fig. 67).

5.2.3.2 Les entonnoirs elliptiques de talus

Sur les fortes pentes des talus, les entonnoirs ont partout un plan elliptique et un profil dissymétrique. D'une façon générale, la profondeur des entonnoirs du talus est plus grande que celle des entonnoirs de plateau. Ce type d'entonnoirs se rencontre sur tous les talus du bassin luxembourgeois.

De même que pour les entonnoirs du plateau, les entonnoirs du talus ont souvent aujourd'hui des pentes stabilisées. On n'a pu observer les mécanismes de leur formation que sur le seul site Kalebiërg. Les conclusions tirées de cet exemple restent donc sujettes à caution, d'autant plus que les variations des formes d'affaissement en fonction de la valeur de la pente -

dans le contexte des mines exploitées par chambres et piliers - n'ont guère été étudiées ailleurs d'une façon explicite⁸⁴.

Dans le cas du site Kalebiërg, le développement du plan elliptique des entonnoirs est lié aux mouvements de terrain qui font que des entonnoirs-puits initialement circulaires évoluent peu à peu en s'allongeant dans le sens de la pente (chap. 4.1, p.123, fig. 83).

5.2.4 Les entonnoirs coalescents

Les entonnoirs coalescents sont formés de plusieurs entonnoirs voisins séparés par des seuils ou des fossés moins profonds. On peut les comparer aux ouvalas par rapport aux dolines. Ils sont fréquents sur le plateau, surtout au-dessus des mines à taux de défrètement élevé.

Suivant les modalités de formation on peut distinguer plusieurs types d'entonnoirs coalescents:

- Des entonnoirs individuels très proches les uns des autres peuvent se transformer en entonnoirs composés par soudure latérale, puis évoluer en entonnoirs coalescents par recoupement des bords mitoyens. Le seuil qui sépare les deux parties du creux est le résultat du recoupement des pentes. Le plan initial des entonnoirs individuels est en général bien conservé. Comme les entonnoirs initiaux ne se sont pas nécessairement développés au-dessus d'une même galerie, leurs axes peuvent former entre eux un angle plus ou moins ouvert (site Baraque Bleue, fig. 39).
- Un entonnoir principal, large et profond, est accompagné d'un ou de deux entonnoirs plus petits qui prolongent le premier, en général, dans le sens de son axe longitudinal (site Pellestack, fig. 54). L'orientation commune des entonnoirs composant l'ensemble et les différences de profondeur entre les entonnoirs individuels s'expliquent par l'influence inégale de l'épanchement aux différents endroits d'une même cavité minière. En effet, le premier effondrement qui se produit profite au maximum des possibilités d'épanchement des matériaux dans les cavités voisines, alors que les affaissements contigus se font dans des cavités minières déjà en partie comblées (fig. 126).

⁸⁴ Les études qui existent en ce qui concerne les exploitations par tailles (exploitation totale) ne sont pas applicables dans la mesure où, au Luxembourg, les affaissements sont strictement liés à des cavités minières limitées par des piliers, alors que, dans le cas d'une exploitation totale, la propagation des affaissements peut se faire sous l'ensemble du talus.

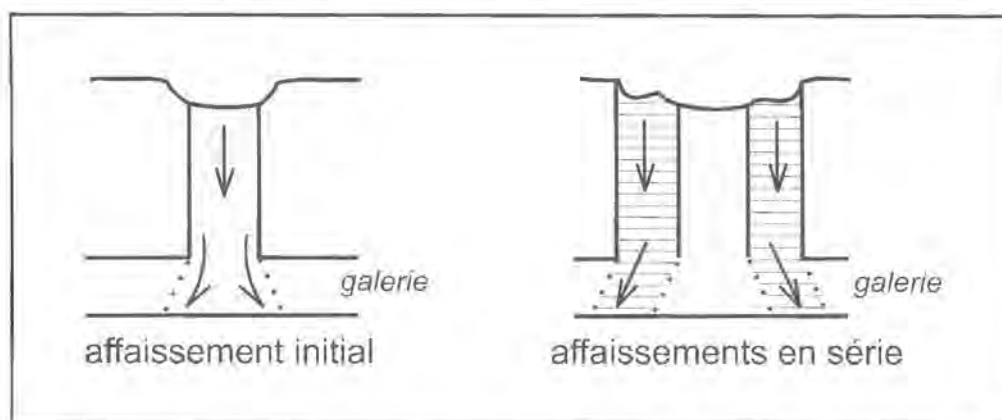


Figure 126: La formation d'entonnoirs coalescents de profondeur inégale

- Plusieurs entonnoirs coalescents, de formes inégales, reliés, le cas échéant, par de courtes tranchées peu profondes, forment une dépression complexe dont la longueur peut être de plusieurs dizaines de mètres (site Pellestack, fig. 55). Ces entonnoirs imbriqués suivent les lignes maîtresses de la mine au-dessus de laquelle ils se sont développés (site Pellestack, fig. 56). C'est sans doute le tracé des chantiers en parallélogramme qui explique l'apparition d'une deuxième ligne - beaucoup moins explicite - d'orientation des axes des entonnoirs coalescents sur le site Pellestack (fig. 56).

5.2.5 L'eau et les entonnoirs: les entonnoirs-mares

Les entonnoirs-mares occupent deux types de sites dans le bassin ferrifère luxembourgeois, à savoir:

- les endroits du plateau où affleure la formation latéritique du fer fort, c'est-à-dire la majeure partie du plateau de Differdange et une étroite zone frontalière du plateau d'Esch-Rumelange;
- le replat des marnes micacées sur le pourtour de la côte bajocienne.

5.2.5.1 Les entonnoirs-mares de plateau

Dans le **bassin d'Esch-sur-Alzette**, les entonnoirs-mares ne se retrouvent aujourd'hui que sur le site Origerbësch où vient mourir l'important gisement de fer fort d'Aumetz (F). La couche ferrifère n'y forme pas une couche continue, mais n'a subsisté que sous forme de lambeaux piégés dans les calcaires coralliens karstifiés (photo 25). C'est aux endroits où l'argile de décalcification, en glissant dans les entonnoirs, a pu en imperméabiliser le fond que quelques entonnoirs-mares se sont formés au milieu d'un grand nombre d'entonnoirs restés secs.

Dans le **bassin de Differdange**, la formation latéritique recouvre la plus grande partie du plateau (chap. 1.12, fig. 2). Sur le sommet plat, la couche argileuse continue atteint une épaisseur de plusieurs décimètres. En plus, de longues et profondes fosses karstiques ferrifères sillonnent le plateau (chap. 3.4 - site Tillebiërg, fig. 71). Dans ce cas, les entonnoirs-mares permanents sont fréquents et, par temps de pluie prolongée, ils peuvent se remplir d'eau jusqu'à ras bords, car les parois des entonnoirs sont entièrement couvertes d'argile de décalcification. Les mares de ce premier type sont quasi permanentes.



Photo 25: Fissure karstique contenant la formation du fer fort, dans la carrière de l'Intermoselle voisine du site Origerbësch (A. Storoni, mai 1993)

En s'éloignant de ces gisements ferrifères, la couche d'argile est de moins en moins épaisse et ne forme plus partout une couverture continue. Les entonnoirs-mares sont alors liées à des poches isolées de fer fort. Les entonnoirs de subsidence qui en se formant ont entamé les poches, sont remplis d'eau jusqu'à une hauteur qui est fonction de la quantité d'argile qui s'y est déversée. On trouve ici aussi bien des entonnoirs remplis d'eau en majeure partie que d'autres qui n'ont qu'un fond humide par de temps de pluie (chap. 3.2 - site Pellestack). Il n'est pas toujours possible de distinguer avec certitude les véritables entonnoirs des anciennes minières de fer fort (chap. 7).

Sur les bords du plateau de Differdange, la couche superficielle de fer fort disparaît peu à peu, les poches deviennent plus rares et plus petites (chap. 3.1, p. 62, photo 1) et finissent par disparaître à leur tour au moment où s'arrête la couche des calcaires coralliens à laquelle elles sont génétiquement liées. Ici, les mares sont beaucoup moins développées que sur le sommet du plateau, car, même si elles se sont déversées dans un entonnoir, les argiles n'arrivent qu'à imperméabiliser celui-ci d'une manière imparfaite et ne peuvent retenir l'eau qu'en petite quantité et pendant un laps de temps réduit.

Sur la partie orientale du plateau de Differdange - au-delà de la faille de Godbrange (chap. 1.1.2, fig. 2) - la formation du fer fort a été érodée; on n'y trouve pas d'entonnoirs-mares.

5.2.5.2 Les entonnoirs-mares du replat des marnes micacées

Les entonnoirs-mares qui se trouvent sur le replat des marnes micacées, aux lieux-dits Tételbiérg (fig. 21), Ellergronn (fig. 26), Holleschbiérg (fig. 27), Laangebiérg (fig. 29), ont une autre origine et sont alimentés de manière différente.

Sur le replat des marnes micacées, les cheminées d'affaissement débouchent dans les marnes qui glissent dans les creux nouvellement formés et en imperméabilisent le fond. Tous les creux, grands ou petits, peuvent donc retenir l'eau. C'est pour cette raison que les entonnoirs-mares sur marnes micacées sont si bien représentés dans tout le bassin et qu'ils s'égrènent souvent le long du talus.

Les entonnoirs-mares du replat gardent l'eau pendant la plus grande partie de l'année parce qu'en plus des eaux atmosphériques, ils recueillent celles de la nappe phréatique des calcaires bajociens sus-jacents. Ceci vaut surtout pour les entonnoirs-mares situés vers l'aval-pendange, comme c'est le cas, par exemple, pour les étangs du site Tételbiérg (chap. 4.2).

A certains endroits comme au lieu-dit Henzebiérg (fig. 26), les entonnoirs-mares se trouvent légèrement en amont des marnes micacées, sur les couches calcaires). Il s'agit dans ces cas d'entonnoirs profonds dont la

couronne est développée dans les calcaires mais dont le fond atteint les marnes. La quantité d'eau relativement importante qu'on observe dans ces entonnoirs provient de la nappe phréatique que les pentes de l'entonnoir recourent.



Photo 26: Entonnoir-mare au lieu-dit Ellergronn près d'Esch-sur-Alzette (A. Storoni, septembre 1997)

Chapitre 6

Les crevasses

Les crevasses se rencontrent partout dans le bassin minier⁸⁵. Elles sont bien représentées sur les talus et sur les plateaux; sur les replats, elles sont plus rares. Dans les documents archivés concernant les anciens affaissements, ce sont les crevasses qui sont citées le plus fréquemment. De nombreuses crevasses ont dû disparaître depuis leur formation, car parmi toutes les crevasses dont nous avons trouvé la localisation sur d'anciens plans de la fin du 19e et du début du 20e siècle, aucune n'a pu être retrouvée sur le terrain.

La plupart des crevasses ont été affectées depuis leur apparition par des mouvements de masse qui se sont produits sur leurs plans de cassure. Ces mouvements ont changé sensiblement les formes initiales des crevasses (chap. 4.1 - site Kalebiërg, fig. 84) et ont même réussi à gommer complètement du paysage des crevasses d'une grande ampleur (chap. 4.3 - site Grand Bois, fig. 110).

Selon les endroits où elles se sont produites, les crevasses ont des formes et des origines différentes.

6.1 Les crevasses de plateau, aux limites des concessions

L'analyse des crevasses des sites Baraque Bleue, Pellestack et Grand Bois (chap. 3.1 ; 3.2 et 4.3) a montré que les crevasses de plateau sont, dans tous les cas, associées à des limites de concessions. C'est aussi vrai pour les crevasses situées entre les concessions nationales que pour celles qui sont localisées le long de la frontière, où des concessions luxembourgeoises et françaises se touchent. Comme la frontière traverse toutes les parties du plateau du bassin d'Esch-sur-Alzette, les crevasses qui lui sont associées y sont nombreuses. On les trouve aux lieux-dits Hessinger Biërg (fig. 26), Kalebiërg (fig. 28), Laangebiërg (fig. 25). Au contraire, dans le bassin de Differdange, où la frontière traverse surtout les vallées, les crevasses de plateau n'apparaissent que sur le site Longues Raies (fig. 20) (photo 27).

L'exemple du lieu-dit Kalebiërg illustre bien l'étroite interdépendance entre les crevasses et les limites de concessions. On peut y observer deux crevasses parallèles situées à une trentaine de mètres de distance. A cet endroit, un passage avait été prévu à l'est de la mine Kalléckfeld appartenant à l'usine de Differdange, pour faciliter à la société ARBED l'accès de ces concessions situées de part et d'autre de la mine Kalléckfeld (fig. 127). Les bornes minières et frontalières existent encore à cet endroit et montrent que la crevasse située en territoire luxembourgeois est associée à la limite de la concession Kalléckfeld (photo 28), alors que la seconde chevauche la frontière franco-luxembourgeoise.

⁸⁵ Dans un rapport du 16 avril 1888, le conducteur des mines écrit au sujet des crevasses: "*il en existent (sic) à la surface de toutes les exploitations dans lesquelles on a opéré des dépilages*". (A.E.L. IM II 37)



Photo 27: Crevasses marquant la frontière franco-luxembourgeoise sur le plateau de Saulnes-Rodange (Copyright Photothèque de la Ville de Luxembourg, auteur Théo. May, mars 1957)

A gauche la France, à droite le Luxembourg. Les crevasses et les entonnoirs ont aujourd'hui disparu à la suite de la réhabilitation des terrains du côté français et de l'extraction des calcaires de couverture du côté luxembourgeois.

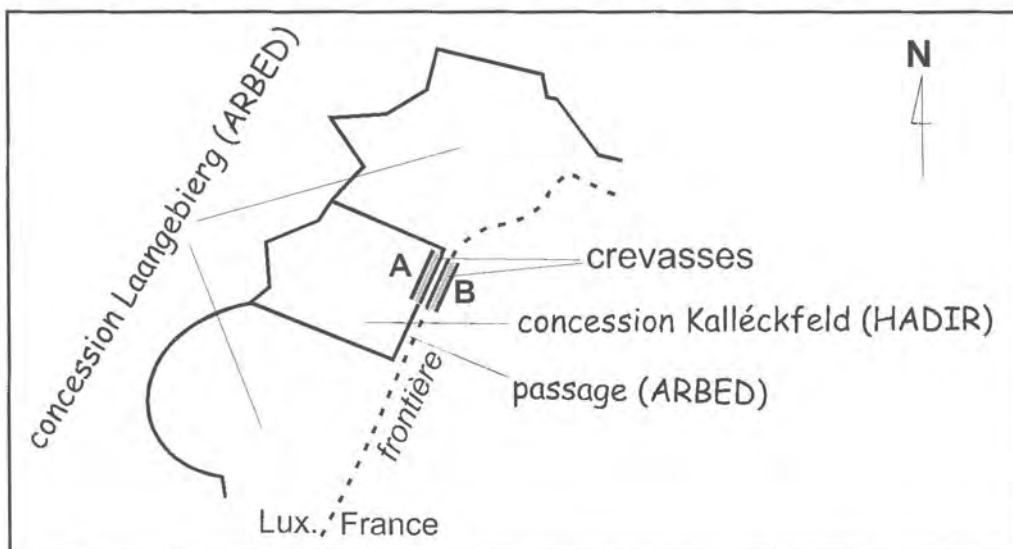


Figure 127: Limites de concessions au lieu-dit Kalebiert (fig. 28)

La crevasse A se trouve au-dessus de la limite entre les concessions Laangebiert et Kalléckfeld; la crevasse B chevauche la frontière franco-luxembourgeoise



Photo 28: Crevasse au lieu-dit Kalebiert (fig. 28)

La photo, prise en direction du sud, montre la crevasse A. À l'avant-plan, une borne indiquant la limite des concessions à laquelle la crevasse est liée

Les crevasses de plateau sont dues aux effets des forces de cisaillement qui s'exercent sur les roches de recouvrement le long des appuis situés aux limites de concessions (R. Haby, 1970). A ces endroits, les travaux d'exploitation décalés dans le temps⁸⁶, mais aussi le maintien en place de piliers le long des limites nationales⁸⁷ et transfrontalières⁸⁸ avaient mis en contact un bord ferme et une mine dépilée.

Cette situation explique pourquoi on trouve souvent, au-dessus des limites de concessions, une seule crevasse ramifiée qui peut s'étirer sur une distance de plusieurs centaines de mètres. La valeur du rejet d'une des lèvres de la crevasse est fonction de l'ampleur de la composante verticale du cisaillement. Il peut arriver que le rejet soit peu sensible (chap. 3.1 - site Baraque Bleue), mais, en général, il donne naissance à un escarpement bien marqué dans le paysage (chap. 3.2 - site Pellestack). Sur le site Grand Bois (chap. 3.3), on est même en présence d'un rejet qui dépasse par endroits 10 m, alors que la crevasse n'a qu'une largeur d'environ 3 m. Il ressort de l'étude des crevasses de plateau liées à des limites de concessions que la composante verticale du déplacement est, en général, bien supérieure à la composante horizontale.

A quelques endroits comme au Hessinger Bierg (fig. 26), la ligne des crevasses est davantage brisée en segments et suit un tracé plus sinueux.

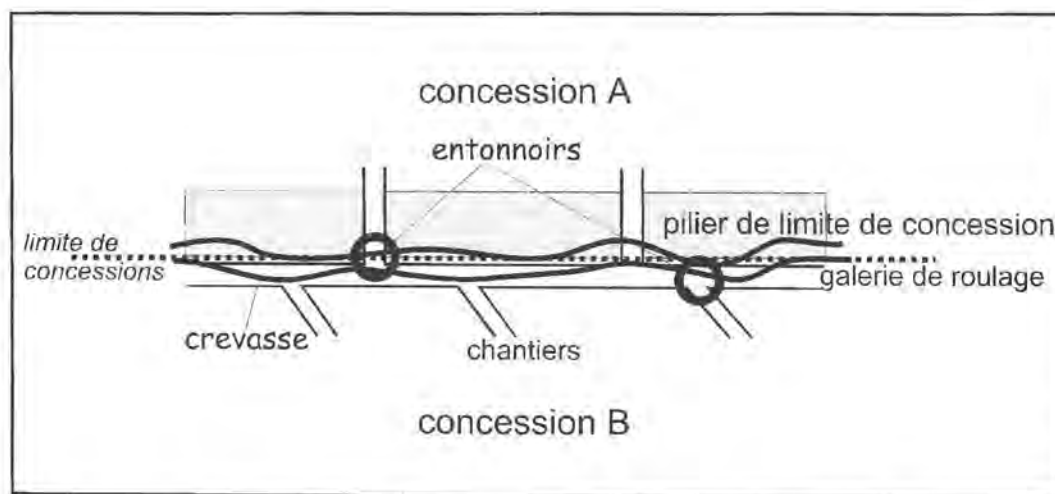


Figure 128: Crevasses et entonnnoirs associés le long d'une limite de concessions

⁸⁶ Sur le site Baraque Bleue (chap. 3.1), les mines Härebësch et Kreuzweg étaient en exploitation avant l'attribution de la concession Tillebiërg-Extension qui forme une enclave entre les deux.

⁸⁷ Dans une lettre autorisant le dépilage partiel de la couche rouge de la mine Wolfskaul, il est spécifié "que le permissionnaire ne pourra abattre des piliers limites du concessible, avant d'avoir informé l'administration des mines et que celle-ci aura reconnu que la ligne de démarcation du terrain domaniaal n'a pas été dépassée." (A.E.L. IM II 9, farde 70)

⁸⁸ Dans une autorisation de percer la frontière franco-luxembourgeoise dans la concession Laangebierg (1904), il est dit qu'il y a une "galerie principale d'extraction parallèlement à la frontière lorraine" et qu'on "devrait ménager entre cette galerie et la frontière un pilier intact d'une largeur de 15 m. Dans la couche lorraine attenante, l'exploitant est autorisé à pousser l'exploitation de la même couche de mine jusqu'à une distance de 50 cm de la frontière luxembourgeoise." (A.E.L. IM II 35, farde 14)

Les entonnoirs emboîtés dans le tracé des crevasses (chap. 3.1 - site Baraque Bleue et chap. 3.2 - site Pellestack) sont dus au fait que les piliers de sécurité maintenus le long des limites des concessions furent parfois traversés par des galeries et que, en général, une galerie de roulage suivait le pilier⁸⁹. Les embranchements qui jouxtaient ainsi la limite des concessions devenaient des endroits favorables au développement d'entonnoirs (fig. 127).

6.2 Les crevasses de talus et de replat

Les crevasses de talus sont plus nombreuses que les crevasses de plateau. Elles appartiennent à plusieurs catégories.

6.2.1 Les crevasses de talus, aux limites des concessions

Une petite partie des crevasses de talus appartiennent au même type que les crevasses de plateau, c'est-à-dire qu'elles sont également liées à des limites de concessions qui sont, en l'occurrence, en même temps les limites du domaine concessible⁹⁰. Ces crevasses en général très anciennes, ont été en grande partie comblées entre-temps (fig. 129). Celles qui subsistent encore de nos jours sont difficiles à distinguer des crevasses - plus nombreuses - liées à la surface topographique en pente.

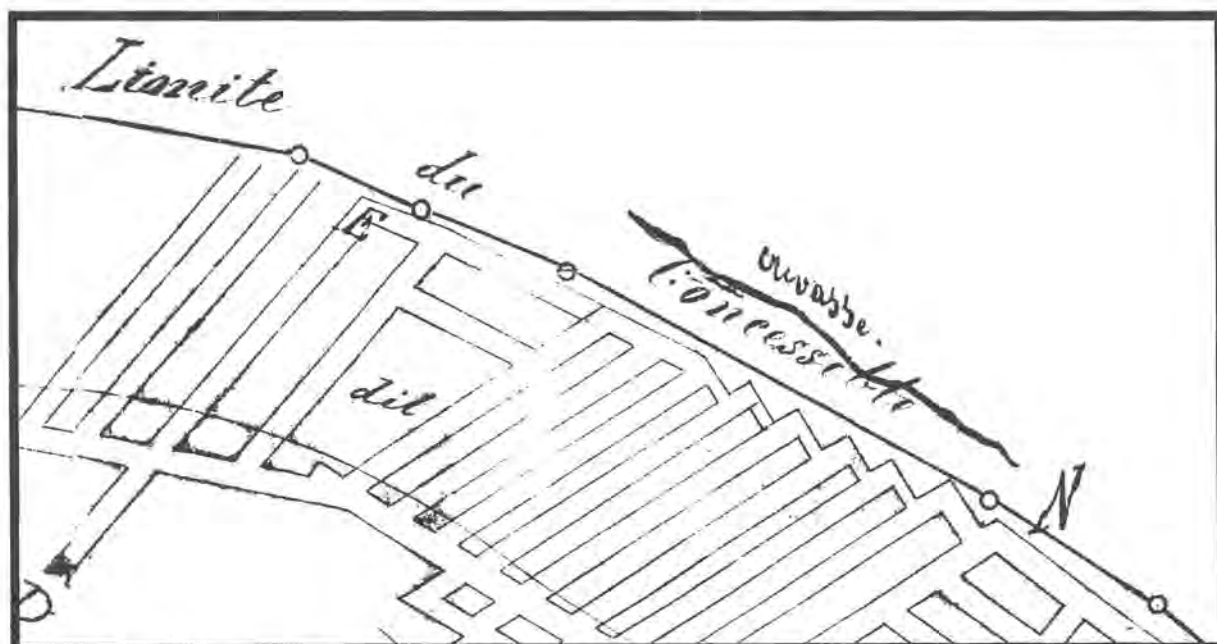


Figure 129: Crevasse parallèle à la limite du concessible sur le site Tételbiert. Cette crevasse reportée sur un plan de 1888⁹¹ a aujourd'hui disparu.

⁸⁹ voir note infrapaginale 88 supra

⁹⁰ Comme les limites du domaine concessible ont été définies, en 1870, sur la base de l'épaisseur du recouvrement (chap. 1.2), elles se situent sur la partie inférieure des talus, légèrement en amont de l'affleurement de la formation de la minette.

⁹¹ A.E.L. IM II 9, fardé 70

6.2.2 Les crevasses de talus dues à la tectonique de détente

Les crevasses de talus qui ne dépendent pas d'une limite de concessions sont liées aux forces de traction qui s'exercent sur les roches calcaires de couverture très fissurées, déstabilisées par les travaux d'extraction du minerai. La création d'un vide provoque l'ouverture des diaclases et le glissement subséquent des roches dans le sens de la pente (B. Whittaker et R. Reddish, 1989). Ces crevasses sont souvent associées en faisceaux et suivent les courbes de niveau. A certains endroits, comme sur le site Grand Bois (chap. 4.3) et au lieu-dit Gärtchen (fig. 21), six à huit lignes de crevasses parallèles se succèdent le long du talus. Parfois, des crevasses transversales isolées relient les faisceaux de crevasses principales.



Photo 29: Crevasse du site Grand Bois "bouchée" à faible profondeur par la végétation et les matériaux de glissement (A. Storoni, mai 2000)

Les crevasses de talus sont souvent étroites et profondes. Elles s'élargissent au sommet à la suite de mouvements de masse sur les plans de cassure. Les végétaux enchevêtrés forment, en général, au fond de cette partie élargie, un toit qui cache la partie inférieure de la crevasse (chap. 4.1 - site Kalebiërg) (photo 29).

Suivant les conditions locales, les crevasses de talus peuvent prendre cependant des formes beaucoup plus spectaculaires. L'ampleur des déplacements verticaux et horizontaux est notamment plus importante sur les talus dont la pente est conforme au pendage des couches. La profondeur et la largeur des crevasses du site Kaleberg (chap. 4.1), localisées vers l'amont-pendage, ne sont que de deux à trois mètres, alors que les crevasses situées, sur le site Grand Bois (chap. 4.3), vers l'aval-pendage, accusent un rejet pouvant atteindre une demi-douzaine de mètres et une largeur de quatre à huit mètres. Ce fait peut être vérifié également ailleurs sur les talus.

La formation de crevasses béantes et profondes est favorisée aussi aux endroits où la pente du talus a été artificiellement raidie par une étape précédente d'exploitation à ciel ouvert. Là où les crevasses apparaissent à l'amont d'un front de taille vertical, des pans entiers de roches peuvent culbuter dans le sens de la pente et donner naissance à de très larges crevasses (chap. 4.2 - site Têtelsberg, fig. 98 ; chap. 4.3 - site Grand Bois, fig. 108 et photo 18).

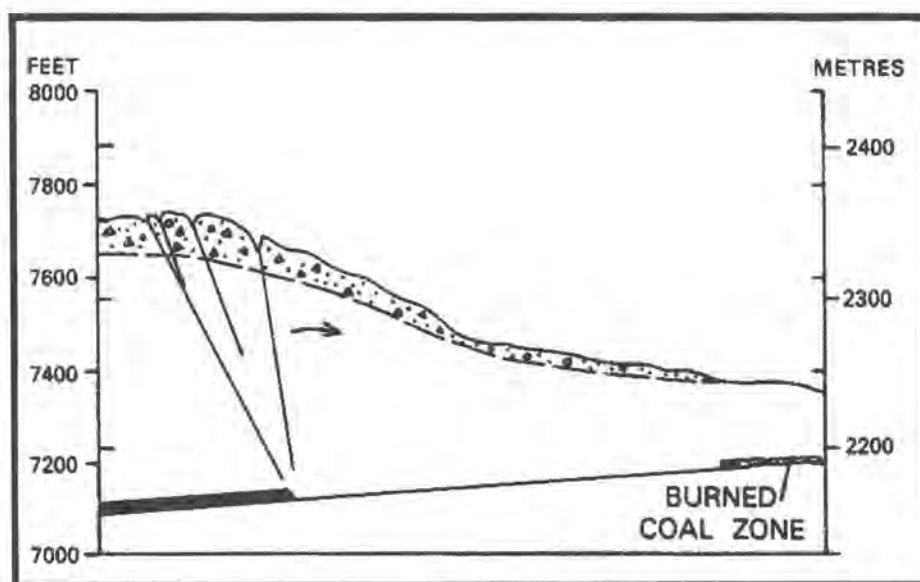


Figure 130: Crevasses de bordure de plateau (C. Dunrud, 1984, p. 177)

Les crevasses situées sur le plateau sont liées au bord ferme et ont apparu à la suite du glissement des roches dans le vide minier; la crevasse située sur le sommet du talus est due également à l'extraction du minerai, mais les blocs rocheux qu'elle délimite ont une tendance croissante à se déplacer dans le sens de la pente (flèche).

Les crevasses de limite de concessions situées au contact du plateau et du talus (chap. 4.3 - site Grand Bois) montrent que les effets dus à la présence de cette limite et ceux liés à la valeur de la pente s'y sont conjugués pour déterminer de longues crevasses droites accompagnées d'autres crevasses parallèles, plus petites et segmentées, qui se trouvent sur le haut du talus. On retrouve une situation comparable bien que plus complexe au lieu-dit Laangeberg entre Rumelange et Dudelange. C. Dunrud

(1984) rapporte une situation analogue de crevasses parallèles localisées en bordure de talus, au-dessus du bord ferme d'une mine de charbon exploitée par la méthode des chambres et piliers (fig. 130).

6.2.3 Les fissures élargies, sur les replats

Les crevasses sont rares sur le replat des marnes micacées et sur le replat aalénien. Celles qu'on rencontre au lieu-dit Herenterbiertg (fig. 30) ont la forme de simples fissures élargies, sans rejet d'une lèvre ni mouvements de masse sur les parois. Leur largeur est de quelques décimètres. Elles donnent parfois sur un puits-diaclases (photo 30). A ces endroits, les tensions résultant des effondrements souterrains se sont probablement concentrées sur des plans de faiblesse de la roche préexistants pour donner lieu à des fissures béantes.



Photo 30: Fissures donnant sur un puits-diaclases au lieu-dit Herenterbiertg (A. Storoni, juin 1997)

Chapitre 7

Les pseudo-formes

Les pseudo-formes sont des formes de relief qui se situent aux mêmes endroits que les véritables formes d'affaissement et qui leur ressemblent au point de pouvoir être confondues avec elles.

Cette similitude des formes peut rendre malaisée l'interprétation morphogénétique. A défaut de critères sûrs, on risque de prendre, même après analyse, certaines pseudo-formes pour d'authentiques formes d'affaissement (chap. 3.1 - site Baraque Bleue), et, au contraire, d'attribuer une origine différente à des formes de relief qui sont en réalité dues à l'extraction du minerai en profondeur (chap. 4.2 - site Tételberg).

Deux types de pseudo-formes d'affaissement se rencontrent dans le bassin minier, à savoir des pseudo-entonnoirs et des pseudo-crevasses.

7.1 Les pseudo-entonnoirs

Pour peu qu'ils aient les formes d'un entonnoir circulaire ou elliptique, tous les creux qui ont subi pendant un temps suffisamment long les effets des glissements sur leurs bords peuvent être confondus avec des creux d'affaissement.

M. Lucius (1945) a mentionné un ensemble de creux oblongs qui ressemblaient à des entonnoirs d'effondrement mais qui étaient en réalité des tranchées militaires. Au lieu-dit Kaleberg (fig. 28), nous avons pu observer, à proximité d'autres creux de formes variables, un entonnoir circulaire accompagné d'une levée de terre de quelques décimètres de hauteur, formée de matériaux hétérométriques. Il pourrait s'agir d'un impact d'obus remontant à la Deuxième Guerre Mondiale. Au lieu-dit Klängelbuer (fig. 23) se trouve, au milieu de véritables creux d'affaissement, une dépression allongée et à fond plat qui correspond aux fondations d'un ancien chalet de garde-forestier.

A côté de ces pseudo-entonnoirs occasionnels, on en trouve d'autres qui sont beaucoup mieux représentés: les cavités résultant de chablis et les minières de fer fort.

Tous les entonnoirs du bassin minier se trouvant en forêt (chap. 2.2), ils sont fréquemment accompagnés de cavités dues à la chute d'arbres⁹². Lorsque ce sont de jeunes arbres ou des arbres à racines horizontales comme les épicéas qui sont renversés, le matériau arraché du sol se compose surtout de terre meuble et de débris rocheux de petite taille. Une fois l'arbre enlevé, il ne reste sur place qu'une cavité subcirculaire à fond plat, bordée d'un remblai peu élevé que le tassement et la reptation finissent

⁹² Après les violentes tempêtes de la fin de l'année 1999, des arbres avaient été renversés sur de nombreux sites affectés par les affaissements miniers.

par rendre peu visible sous la strate herbacée du sous-bois. Les chablis observés, ces dernières années, sur le site Baraque Bleue (chap. 3.1) ont donné naissance à des creux de ce type.

Les entonnoirs d'affaissement qui se sont développés sur le même site ont subi également les effets des glissements, d'autant plus que, étant peu profonds, leurs bords se trouvaient en majeure partie dans le sol meuble. Leurs bords se sont peu à peu émoussés et le fond a été en partie rempli par les matériaux de glissement. L'évolution des deux types de creux ayant des origines différentes a ainsi pu conduire à une remarquable convergence des formes.

Pour les creux résultant de la chute de gros arbres dont les profondes racines arrachent à la fois le sol et les débris rocheux du régolite, le problème d'interprétation se pose moins, car le remblai volumineux qui subsiste continue à témoigner de son origine (chap. 4.3 - site Grand Bois, fig. 110). Au lieu-dit Rembur (fig. 27), où sa pente est particulièrement raide, l'ensemble du talus est parsemé de trous provenant de la chute d'arbres.

Toutefois la présence d'un remblai formé de blocs et de matériaux fins entremêlés n'est pas pour autant le garant qu'il s'agit d'un creux lié à la chute d'un arbre. En effet, les arbres situés immédiatement en bordure d'un entonnoir d'affaissement sont privés, par la formation de ce dernier, d'une partie de leur support et peuvent s'abattre plus facilement sur l'entonnoir en créant un remblai sur son bord. Tel a été le cas, par exemple, au cours de l'hiver 1999-2000, lorsqu'un arbre s'est abattu sur l'entonnoir n° 7 du site Kalebiérg (chap. 4.1).

En d'autres occasions, un remblai qui accompagne un entonnoir peut aussi vouloir dire que le creux a été créé par l'homme et que le remblai se compose des matériaux d'excavation. C'est le cas des minières de fer fort du site Origerbësch (chap. 3.6), le deuxième type de pseudo-entonnoirs. À côté de chacun des entonnoirs de ce site se trouve un remblai constitué de l'argile de décalcification rejetée de l'excavation. Des nodules de fer fort sont mélangés à l'argile. L'absence d'eau au fond des entonnoirs doit être considérée - dans ce cas-ci - comme critère permettant de distinguer les entonnoirs d'affaissement des minières, car ces dernières sont liées à des poches de fer fort qui, une fois vidées, ne permettent plus aux roches calcaires encaissantes de retenir l'eau de précipitation.

À d'autres endroits au contraire, c'est la présence permanente d'eau dans un entonnoir qui doit être interprétée comme indice qu'on est en présence d'une minière de fer fort. C'est notamment le cas lorsque les creux sont localisés à des endroits du plateau de Dîfferdange où se trouvent des fosses ferrifères larges et profondes qui n'ont pas été totalement vidées par les mineurs et au fond desquelles subsiste une couche d'argile imperméable (chap. 3.4 - site Tillebiérg). Comme les argiles imbibées d'eau ont une forte propension au glissement, les bords de ce type de minières sont souvent moins escarpés que ceux des entonnoirs d'affaissement (photo 31).



Photo 31: Ancienne minière de fer fort sur le site Tillebiereg (A. Storoni, mai 1996)

7.2 Les pseudo-crevasses

Les roches calcaires du Bajocien ont été exploitées dans de nombreuses carrières dont certaines occupent plusieurs hectares et d'autres à peine un are. La présence d'un ou de plusieurs fronts de taille et de pistes d'exploitation qui se fauillent entre les tas de déblais leur donnent des formes particulières qui sont faciles à reconnaître, même si les carrières ont été abandonnées depuis longtemps.

Ce n'est pas le cas pour quelques-unes des vieilles carrières de faibles dimensions qu'on trouve sur les versants des vallons qui descendent du plateau de Differdange vers la Crosnière. L'étroitesse des vallons a fait que leur fond a dû être entaillé dans le sens de l'écoulement des eaux, ce qui a donné naissance à une longue balafre qui, après avoir subi pendant des dizaines d'années les effets des glissements, a fini par développer des formes qui ressemblent à celles d'une crevasse d'effondrement qui aurait subi le même type d'altérations (chap. 4.3. -site Grand Bois).

Chapitre 8

L'évolution des formes

d'affaissement

8.1 Les formes complexes

A l'exception de ceux qui sont apparus au cours des dernières années, tous les creux d'affaissement du bassin minier ont évolué au cours des décennies sous l'action des mouvements de terrain qui ont affecté leurs bords et leurs fonds. Ce que nous observons actuellement sont, pour l'essentiel, des formes dérivées. Mais, pour la plupart d'entre eux, les formes originales issues des seuls mouvements de terrains verticaux restent facilement reconnaissables.

A côté des formes d'affaissement bien individualisées, on trouve cependant aussi des creux composés aux formes complexes qui se laissent mal intégrer dans une des catégories précédemment décrites et pour lesquels il est difficile de déterminer les mécanismes qui les ont engendrés.

8.1.1 Les fossés

Les fossés sont des dépressions allongées ayant des parois raides et un fond plat (chap. 2.1.1). A première vue, les fossés du plateau de Differdange (chap. 3.1 - site Baraque Bleue ; chap. 3.2 - site Pellestack) répondent à cette définition et apparaissent comme des formes d'affaissement à part, au même titre que les entonnoirs ou les crevasse. Mais, à y regarder de plus près, on constate que les "fossés" inventoriés sont des formes complexes qui se composent de creux individuels emboîtés dont seul l'ensemble donne l'impression d'un fossé.

Il est vrai que les "fossés" des sites Baraque Bleue et Pellestack ont pu être associés à des galeries de roulage, mais la faible largeur des galeries (environ 4 m) aurait dû empêcher l'effondrement systématique du toit soutenu par des étançons ou des boulons. Il faut admettre que les galeries offrent uniquement le cadre dans lequel peuvent se produire des affaissements (d'où l'impression d'un lien direct entre les mouvements de subsidence et le périmètre de la galerie), mais que les creux individuels ne sont pas tous liés à un affaissement unique et cohérent.

Le "fossé" du site Pellestack a un bord droit et un bord sinueux; son fond est marqué, du côté du bord irrégulier, par une crevasse (chap. 3.2.4, fig. 60). Deux entonnoirs, dont un contient de l'eau, se trouvent dans le fossé. Cette forme complexe pourrait éventuellement s'expliquer par le pendage des couches qui est orienté vers le bord du fossé auquel est associée la crevasse. De ce côté aurait pu se produire une rupture du pilier latéral dont le matériau aurait glissé - toujours dans le sens du pendage - dans les chantiers défilés voisins, permettant au toit de la galerie de s'effondrer de ce côté. La crevasse liée au bord du pilier et les entonnoirs situés au-dessus d'embranchements de chantiers se seraient greffés ensuite sur ce premier mouvement. Mais, faute d'éléments de vérification, ceci n'est qu'une hypothèse.

Le "fossé" du site Baraque Bleue a des formes irrégulières aussi bien en ce qui concerne ses bords que son fond (chap. 3.1, fig. 44). Il rappelle, en très petit, la dépression du site Tételbiert (chap. 4.2), au point qu'on peut se demander si ce ne sont pas - ici et là - d'anciens entonnoirs qui ont fait peu à peu leur jonction pour aboutir finalement à une dépression allongée d'un seul tenant.

8.1.2 Les dépressions irrégulières

Le meilleur exemple d'une forme complexe irrégulière est sans doute la dépression aux étangs emboîtés du site Tételbiert dont l'origine minière a d'ailleurs pu être contestée (chap. 4.2). Des dépressions de même type, bien que beaucoup moins spectaculaires, se trouvent également à d'autres endroits du bassin minier, aux lieux-dits Hessinger Biert (fig. 26) et Grouwen (fig. 22), par exemple.

Elles sont, dans tous les cas difficiles à expliquer parce qu'on n'arrive guère à reconstituer les étapes qui ont conduit au résultat final. Une de ces formes complexes est cependant actuellement en voie de formation au lieu-dit Laangebiert (fig. 29). Pour le moment, on peut encore distinguer les deux parties qui la composent (photo 32):

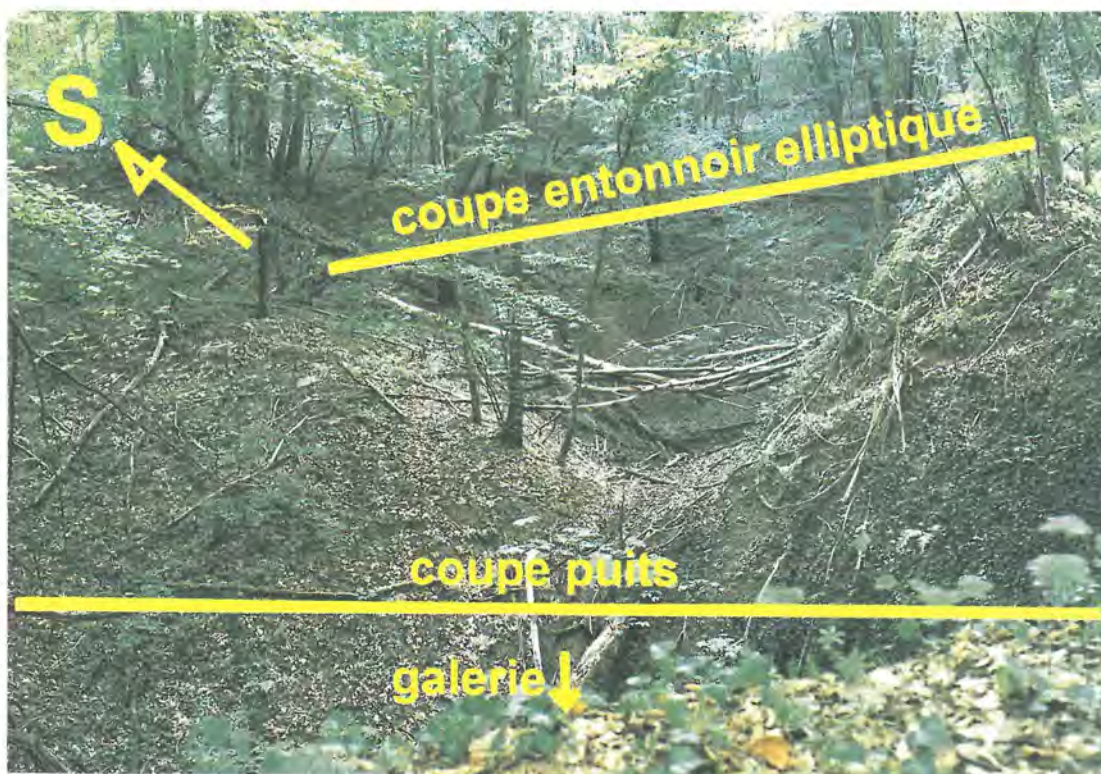


Photo 32: Dépression complexe au lieu-dit Laangebiert (Photo A. Storoni, septembre 1999)

- vers l'amont, un entonnoir elliptique dont les bords, développés dans les marnes micacées, ont été irrégularisés et émoussés à la suite de glissements (fig. 131);

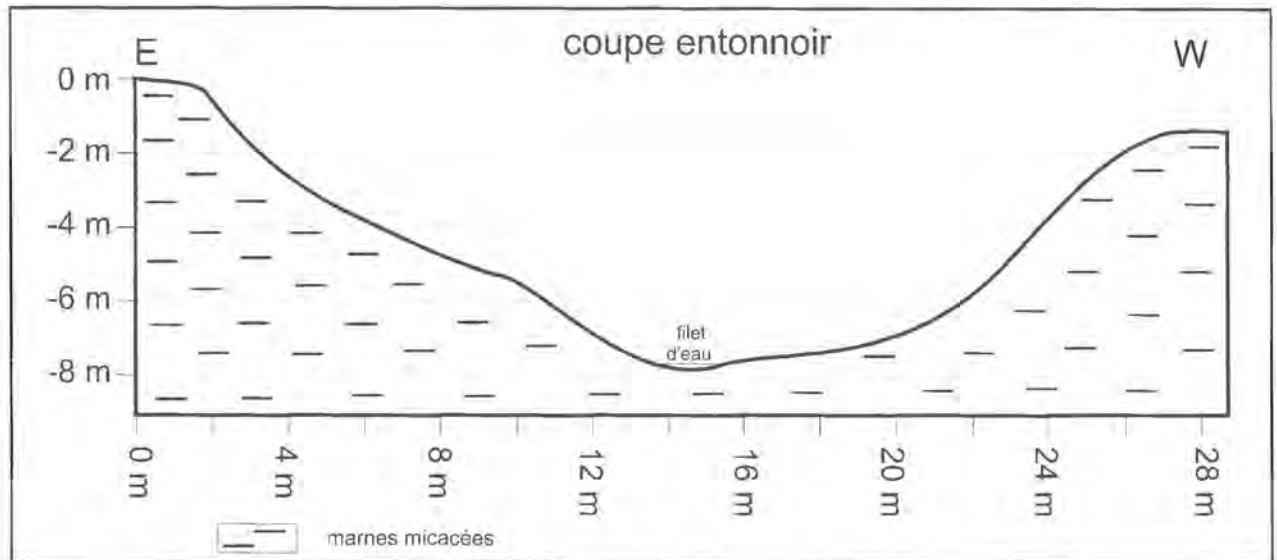


Figure 131: Coupe à travers l'entonnoir elliptique du site Laangebiërg (pour la localisation de la coupe, voir photo 32)

- vers l'aval, un puits circulaire enfoncé dans les couches calcaires du toit de la formation de la minette qui en préservent mieux les bords raides (fig. 132). Au fond du puits on voit encore la galerie au-dessus de laquelle s'est formé le puits (photo 23), mais elle est en train d'être bouchée par les matériaux de glissement.

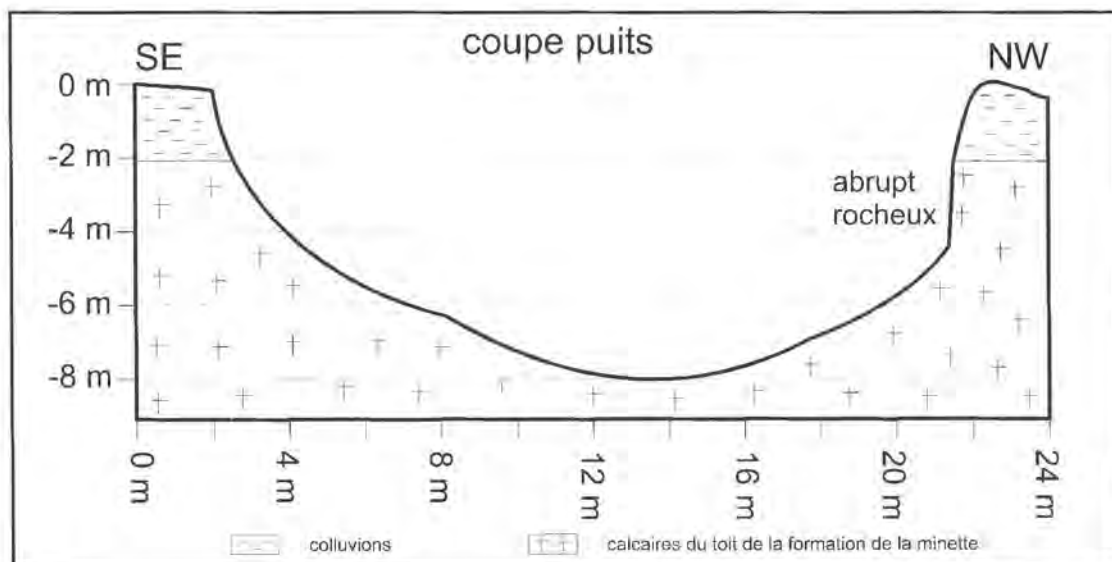


Figure 132: Coupe à travers le puits du site Laangebiërg (pour la localisation de la coupe, voir photo 32)

L'évolution des creux individuels finira tôt ou tard par aboutir à une dépression allongée en forme de poire, ayant, en amont, des pentes émoussées et un fond humide qui laisse s'écouler en surface les eaux de suintement, et, en aval, des parois raides et un fond sec où l'eau de ruissellement s'infiltrerait rapidement. Le fond de l'entonnoir se raccorde à celui du puits par un talus raide de quelque deux mètres de hauteur.

8.2 Les "formes d'atténuation": les auges

De nombreux creux d'affaissement qui se trouvaient sur les terres agricoles ont été fondamentalement altérés par l'homme pour lui permettre de continuer à utiliser les terrains. Les creux remodelés peuvent aujourd'hui être pris pour des formes d'affaissement originales, comme il en existe beaucoup dans des bassins miniers où l'application de techniques permettant l'extraction totale du minerai a conduit précisément à ce type de formes de relief.

Les cuvettes circulaires en forme de poêle, qui ont été recensées fréquemment dans des bassins miniers étrangers, ne se rencontrent nulle part dans le bassin luxembourgeois. Il y a certes quelques dépressions au profil irrégulier sur le plateau de Differdange, mais la très grande majorité des dépressions sans rupture apparente de terrain ont un plan allongé en forme d'auge et un profil transversal dissymétrique (chap. 3.1 - site Baraque Bleue, fig. 47 ; chap. 3.6 - site Koeppchen, photo 12).

L'étude de ces deux sites a montré que les auges sont le résultat de l'altération d'autres formes d'affaissement - crevasses dans les cas du site Baraque Bleue, entonnoirs dans celui du site Koeppchen -, à la suite de la réhabilitation des terrains pour les besoins de l'exploitation agricole.

Bien qu'on ne parvienne pas à retracer dans tous les cas la genèse des auges faute de documents adéquats, on peut néanmoins penser que le plus grand nombre d'entre elles ne sont pas issues directement de la subsidence minière. Ce qui renforce encore cette hypothèse est le fait que les auges sont strictement limitées au domaine agricole. Dans les bois, les creux de subsidence accusent dans tous les cas des ruptures de pente sur les bords. En plus, à quelques endroits du bassin d'Esch-sur-Alzette, des auges prennent la relève des entonnoirs au moment-même où ceux-ci débouchent sur des terrains agricoles: lieux-dits Hessinger Bierg (fig. 26) et Lannebiérg (fig. 28). Il s'agit là, de toute évidence, d'anciens entonnoirs parmi lesquels uniquement ceux qui se trouvaient dans les champs ont été altérés.

Il arrive régulièrement que les axes des auges d'un site soient orientés dans la même direction et donnent lieu à un relief ondulé. Tel est le cas, par exemple, au lieu-dit Stronk (fig. 21) (photo 33) et au lieu-dit Glécht (fig. 26).

Les axes des auges du lieu-dit Glécht ont la même direction que les chantiers sous-jacents⁹³. Dans la forêt avoisinant les champs se trouvent encore actuellement des entonnoirs qui n'ont pas été comblés. Il est donc probable que des entonnoirs en série, qui s'étaient formés au-dessus des chantiers, aient été à l'origine du relief ondulé à cet endroit.

⁹³ D'après un plan d'exploitation de la couche brune, du 4 juin 1926 (Source: Inspection du Travail et des Mines)



Photo 33: Relief ondulé au lieu-dit Stronk du plateau de Differdange (Photo A. Storoni, septembre 1999)

Au lieu-dit Bache Jang du plateau de Differdange (fig. 24), quelques entonnoirs avaient subsisté au milieu des champs jusqu'en 1999. Ils avaient été utilisés comme pierriers⁹⁴ sur ces terres calcaires caillouteuses et ils s'étaient, peu à peu, transformés en bosquets.⁹⁵ Ces îlots avaient été déboisés en 1998 (photo 34), puis, en 1999, ils furent transformés en dépressions peu profondes aux pentes molles (photo 35) qui ne gênent pas l'utilisation des machines agricoles modernes.

Les données dont nous disposons permettent de penser que toutes les auges des deux bassins sont apparues d'abord sous forme d'entonnoirs ou de crevasses. Rien ne permet cependant d'affirmer qu'aucune auge ne soit apparue telle qu'elle à la suite d'un affaissement minier. D'un point de vue théorique de telles auges peuvent effectivement se former directement par affaissement (H. Kratzsch, 1974; C. Dunrud, C. 1984; R. Gray et R. Bruhn, 1984; A. Waltham, 1989). Mais, leur formation est liée à l'extraction totale du minerai et à un avancement rapide et continu de l'abattage (exploitation par tailles, par exemple). Or, ni l'une ni l'autre de ces conditions n'étaient remplies au Luxembourg.

⁹⁴ Ailleurs sur le plateau de Differdange, les sols se sont développés sur la formation du fer fort et les débris calcaires y sont peu nombreux, ce qui explique l'absence de pierriers à ces endroits.

⁹⁵ Les bosquets sont visibles sur des photos aériennes de 1977 et 1994



Photo 34: L'évolution d'un entonnoir ... (A. Storoni, février 1999)



Photo 35: ... en auge mollement ondulée par comblement et labours (A. Storoni, janvier 2000)

Au lieu-dit Bache Jang (fig. 24): même endroit, angle de vue légèrement décalé

D'un autre côté, une rupture de piliers en série peut également conduire à un résultat similaire, comme l'ont montré les affaissements qui se sont produits en Lorraine ces dernières années⁹⁶. Quelques-unes des auges du Luxembourg pourraient être liées à ce deuxième mécanisme. En effet, dans une exploitation par chambres et piliers, le dépilage étant toujours inégal, les conditions locales d'extraction peuvent changer assez rapidement d'un endroit à l'autre de la mine. Des entonnoirs d'effondrement et des auges d'affaissement pourraient donc se relayer mutuellement au-dessus d'une même mine (fig. 133). Nous manquons cependant d'indices certains pour pouvoir, dans un cas concret, opter en faveur d'une genèse de cette sorte.

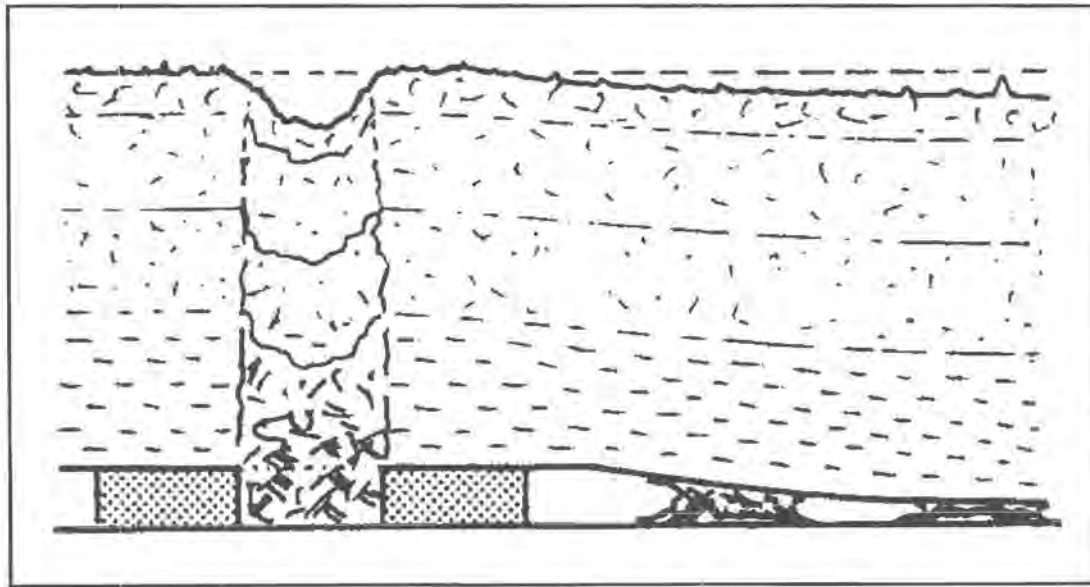


Figure 133: Entonnoirs d'effondrement et cuvettes d'affaissement au-dessus d'une exploitation par chambres et piliers (d'après B. Whittaker et J. Reddish, 1989, p. 45)

⁹⁶ A Auboué en 1996 et à Moutiers en 1997 (*Géochronique* 66, 1998)

8.3 Vers une réhabilitation des terrains

La réhabilitation des terrains affectés par les affaissements miniers ne peut se faire qu'en tenant compte des affaissements existants et de leur gestion et en envisageant l'éventualité de nouveaux affaissements.

8.3.1 La gestion des affaissements

8.3.1.1 Durant l'exploitation

Tout au long de l'époque minière, les dégâts occasionnés par les affaissements ont donné lieu à des plaintes de la part des propriétaires des terrains. Quatre façons de régler les préjudices ont été adoptées⁹⁷:

- la réfection des terrains,
- l'indemnisation sur base d'expertise,
- l'indemnisation par forfait couvrant aussi bien les dommages constatés que les dommages futurs,
- l'achat des terrains par la société exploitante.

Dans le premier cas, les creux de subsidence ont disparu de la surface du terrain ou du moins ont été modifiés de telle façon que l'utilisation du terrain à des fins agricoles fût de nouveau possible⁹⁸.

Dans le deuxième cas, on peut admettre que, là encore, les creux ont été comblés, d'une façon moins complète peut-être.

Dans le troisième cas, le résultat est moins sûr, car le montant de l'indemnité se rapprochait sensiblement de celui du prix d'achat.

Le quatrième cas ne s'est en général réalisé que lorsque la société exploitante avait un intérêt à acquérir le terrain en question, pour l'intégrer dans le périmètre d'un ciel ouvert, par exemple.

D'une manière générale, la réfection des terrains n'était entreprise que si les terrains affaissés étaient de qualité suffisante et si les dégâts n'étaient pas trop importants. Sur les fortes pentes, la réhabilitation ne se justifiait que rarement. Les terrains y ayant été abandonnés à la forêt, c'est à ces endroits qu'on retrouve encore de nos jours une grande partie des anciens creux d'affaissement puisqu'ils y ont pu échapper à l'intervention de l'homme.⁹⁹

⁹⁷ (A.E.L. IM II dossier 37)

⁹⁸ "...généralement des travaux plus ou moins importants d'égalisation suffisent pour les [les terrains] remettre en bon état" (A.E.L. IM II dossier 37)

⁹⁹ "Ce n'est que dans les côtes rapides, où les terres de recouvrement des couches de mine n'atteignent pas une grande hauteur que se produisent de forts éboulements et de larges crevasses, qui obligent de recourir au boisement pour rendre les terrains de nouveau quelque peu productifs." (A.E.L. IM II dossier 37)

La situation des terrains de surface dans le domaine du non concessible était différente en ce sens que la distinction entre la propriété de la surface et celle du tréfonds - qui avait été introduite par la loi sur les concessions - n'y existait pas. L'exploitant devait ou bien être le propriétaire du terrain et alors il subissait ses propres dégâts, ou bien les dégâts faisaient partie du droit d'extraire qu'il avait acquis^{100 101}.

8.3.1.2 Depuis 1981¹⁰²

Actuellement, les creux d'affaissements ne subissent que peu de transformations. Sur les terres agricoles des plateaux et du replat aalénien tous les creux d'affaissement ont été réduits. Les quelques entonnoirs qui avaient encore échappé - dans les champs - aux travaux de réfection, ont récemment disparu (photos 34 et 35). Là où des affaissements nouveaux se produisent, les creux sont immédiatement remblayés. (photo 36).



Photo 36: Le remblayage partiel d'un creux d'affaissement du plateau de Differdange (A. Storoni, juin 1997)

¹⁰⁰ "...affaissements au-dessus de presque toutes les exploitations souterraines établies dans les terrains miniers non concessibles, mais pour ce qui concerne ces derniers, si l'exploitant n'est pas lui-même propriétaire de la surface, il a acquis le droit d'extraire les minettes et n'est pas tenu de réparer les dégradations que leur exploitation pourrait occasionner." (A.E.L. IM II dossier 37)

¹⁰¹ "Les adjudicataires ne seront responsables des affaissements des terrains que pour autant qu'ils proviennent de leur négligence dans les travaux d'exploitation." (Extrait d'une vente à l'enchère du droit d'extraire la minette. A.E.L. IM II dossier 37)

¹⁰² En 1981 a été fermée la dernière mine souterraine du Luxembourg.

Dans les bois, les entonnoirs et les crevasses sont parfois comblés aux endroits où de nouveaux chemins forestiers doivent être aménagés pour faciliter l'exploitation sylvicole. Ailleurs, ils n'évoluent que sous l'emprise des mouvements naturels de terrain.

Plus récemment, une tendance à la préservation de certains creux d'affaissement, voire même de leur mise en valeur s'est fait jour dans les deux bassins. Sur le site Tételbiert, les "étangs" font partie d'un circuit culturel et sont régulièrement nettoyés. Comme ils risquent de se vider vers le front de taille qui se trouve à proximité immédiate de leurs bords (chap. 4.2), des barrages de fortune ont été établis pour les préserver. Les éboulements qui se sont produits ces dernières années sur le front de taille finiront tôt ou tard par avoir raison au moins d'une partie d'entre eux.

Dans le vallon du lieu-dit Ellergronn, une partie des creux d'affaissements ont également été intégrés dans un circuit naturel et culturel centré sur l'exploitation minière et la végétation de substitution qui a déjà en grande partie recolonisé les friches. Ici, dans le fond d'un vallon étroit, les traces des anciens affaissements seront probablement plus faciles à préserver.

8.3.2 L'évaluation des risques d'affaissement

Les documents historiques montrent que des affaissements se sont produits dans le bassin ferrifère dès le début de l'exploitation minière. En juillet 1894 déjà, à peine vingt ans après l'attribution des premières concessions, 47,6 ha de terrains du domaine concessible avaient été déclarés comme ayant subi des dégâts à la suite de subsidences minières (tab. 6). Un "tableau supplétif renseignant jusqu'à fin 1895" fait état de 7 ha 48 a d'affaissements intervenus entre-temps¹⁰³.

Depuis l'arrêt définitif de l'exploitation minière, les affaissements se sont produits à un rythme ralenti, mais ils n'ont pas cessé totalement pour autant. Ces dernières années, des affaissements se sont produits sur les sites Baraque Bleue, Eisekaul, Longues Raies et Kalebiërg. Le dernier affaissement en date remonte à janvier 1999. Il s'est produit près d'une maison d'Esch-sur-Alzette sise à la limite de la concession Kaatzebiërg (fig. 25)¹⁰⁴.

Commune	Surfaces endommagées
Rumelange	4 ha 10 a
Kayl	4 ha
Esch-sur-Alzette	20 ha 50 a
Differdange	17 ha 20 a
Pétange	1 ha 60 a
Bassin minier	47 ha 60 a

Tableau 6: Affaissements miniers recensés en 1894¹⁰⁵

D'après H. Kratzsch (1974), R. Orchard et W. Allen (1975), les affaissements peuvent se produire des dizaines d'années, voire un siècle après la fermeture des mines¹⁰⁶. Le retard peut être imputé soit à la migration retardée de l'effondrement vers la surface, soit à la rupture de piliers. C'est surtout dans les mines à exploitation partielle - et plus particulièrement dans les exploitations par chambres et piliers comme celles du Luxembourg - où subsistent de nombreux piliers de toutes sortes à côté de chambres incomplètement dépilées, que les affaissements décalés dans le temps ne peuvent jamais être complètement exclus, puisque les forces s'exerçant sur les toits non soutenus et sur les piliers peuvent, après un temps plus ou moins long, en venir à bout (photo 37).

¹⁰³ Tableau annexé à une lettre de l'ingénieur des mines du 24 janvier 1896. A.E.L. IM II dossier 37

¹⁰⁴ Tageblatt du 13 janvier 1999

¹⁰⁵ Tableau annexé à une lettre du conducteur des mines du 8 juillet 1894. A.E.L. IM II dossier 37

¹⁰⁶ En Angleterre, des affaissements se sont produits au cours du 20^e siècle au-dessus d'une mine de fer remontant au troisième siècle! (B. Whittaker et D. Reddish, 1989)



Photo 37: Effets des forces de cisaillement sur un pilier en béton, abandonné depuis une trentaine d'années dans la mine Thy-le-Château près de Rodange (A. Storoni, mai 1995)

Etant donné la répartition des anciens affaissements (cartes p. 39-49) et le danger permanent d'une rupture de piliers, les zones à risque comprennent l'ensemble du domaine exploité par mines souterraines.

La gravité des risques dépend en premier lieu de l'utilisation des terrains. Contrairement à la Lorraine voisine, le Luxembourg a pu profiter jusqu'ici du fait que son "pays haut" n'avait été que faiblement occupé. Aujourd'hui, la plupart des constructions érigées sur le plateau à la suite de l'essor minier ont disparu. D'autres éléments de l'infrastructure - comme l'ancien parc municipal de Differdange et un terrain de camping établi sur le même plateau, au voisinage de la ferme Vesque - ont dû être abandonnés après que des affaissements les aient rendus inutilisables. La plupart des routes secondaires traversant les plateaux de Differdange et de Rumelange ont été interdites à la circulation.

Néanmoins les accidents avec dommages corporels résultant de l'affaissement des terrains, pour avoir été peu nombreux jusqu'ici, restent toujours possibles¹⁰⁷.

¹⁰⁷ En octobre 1980, par exemple, une voiture est tombée, sur le versant de la vallée de la Crosnière, dans un entonnoir elliptique de 7 m de longueur, 5 m de largeur et quelque 7 m de profondeur. N'ayant pas pu se libérer par leurs propres moyens, les occupants de la voiture, plus ou moins grièvement blessés, avaient dû passer la nuit au fond de l'entonnoir. (Informations fournies par la Commune de Differdange)

Les endroits qui encourent le plus grand risque sont ceux où l'infrastructure existante est menacée. Les deux fermes et leurs abords immédiats reposent sur de vastes stots de protection et ne sont guère menacés. Il n'en est pas de même des routes et notamment du C.R. 176 Rodange-Differdange et de ses embranchements vers Lasauvage et Niederkorn. En effet, cette route n'a pas été protégée - pour des raisons qu'on ignore¹⁰⁸ - par un stot dans la couche rouge (chap. 3.1, fig. 34), alors qu'un stot a été laissé en place dans la couche grise sous-jacente (chap. 1.2.3, fig. 16).

La lente progression¹⁰⁹ des affaissements du site Baraque Bleue (chap. 3.1), à partir de la limite du concessible vers le bord de la route - les entonnoirs n^{os} 1 (le plus récent), 17 et 18 ne sont plus qu'à quelques mètres de son bord -, renforce la probabilité d'un nouvel effondrement pouvant affecter cette fois la route elle-même. Ce danger existe partout entre la ferme Roudenhaff et le site Pellestack (fig. 20, 21 et 23) où des entonnoirs se trouvent des deux côtés de la route à peu de distance de ses accotements.

À l'heure actuelle de nouvelles zones à risque sont en train d'apparaître, à la suite de la tendance - encore timide - à utiliser les terrains du bassin ferrifère pour installer une partie de la nouvelle infrastructure de la conurbation industrielle. Jusqu'ici, la plupart des projets ont été abandonnés ou suspendus avant le début de leur réalisation¹¹⁰. La tentative d'aménagement d'un terrain de sports sur le site Eisekaul s'est, elle, soldée par un échec (chap. 4.4).

Les techniques d'évaluation des risques d'effondrement existent (F. Bell 1975), mais elles sont très onéreuses parce que les mines souterraines ne sont plus accessibles pour la plupart. D'autre part, ces techniques ne sont pas à cent pour-cent fiables, parce leur application peut elle-même déranger l'équilibre de la mine, et que les travaux de terrassement et de construction peuvent en grever la stabilité, de même qu'une éventuelle surcharge créée par la masse des nouvelles constructions (B. Whittaker et D. Reddish, 1989).

¹⁰⁸ Voir notes infrapaginales 15 et 16, page 69

¹⁰⁹ L'état de la végétation (couverture plus ou moins continue, croissance d'arbres et arbustes) et la fraîcheur des formes (ruptures de pente, traces d'arrachage) permettent de conclure que les affaissements les plus récents se trouvent à proximité de la route C.R.176, alors que les anciens creux et la crevasse remontent à plusieurs décennies. Notamment le creux n^o 1 est apparu il y a environ six ans seulement, d'après plusieurs témoignages concordants.

¹¹⁰ Une piste automobile sur les hauteurs de Differdange: un lotissement sur la butte du Galgebiert près d'Esch-sur-Alzette, par exemple.

Conclusions

L'étude des formes d'affaissement du bassin ferrifère luxembourgeois a montré que leur interprétation morphogénétique doit s'accommoder de certaines limites imposées par l'ancienneté des mines. L'apparition d'une partie des creux remonte jusqu'au milieu du 19^e siècle et, sur les centaines d'entonnoirs qui existent dans le bassin minier, une poignée seulement sont apparus au cours des dix dernières années. A cause de l'inaccessibilité des mines souterraines (la dernière mine a été fermée en 1981), il est impossible de corrélérer directement les affaissements en surface avec les éboulements au fond qui les ont engendrés. On ne peut le faire que par l'intermédiaire des plans d'exploitation dont un grand nombre n'est plus disponible à l'heure actuelle. En dépit de ces réserves, la présente étude a permis d'aboutir à un certain nombre de conclusions bien établies.

Les creux de subsidence sont beaucoup plus nombreux dans le bassin de Differdange que dans celui d'Esch-sur-Alzette. L'inégalité de la répartition est due aux différences du sous-sol et du relief mais aussi, en grande partie, aux stipulations législatives concernant les concessions minières.

Dans le bassin de Differdange, on trouve un plateau d'un seul tenant où les couches de recouvrement sont de l'ordre de 60 à 80 m. La formation de la minette n'affleure que sur la partie inférieure du talus bajocien et sur les étroits promontoires qui prolongent le plateau à l'est et à l'ouest du bassin. Comme le domaine concessible comprenait tous les terrains miniers dont les couches de recouvrement excédaient 24 m, l'essentiel de la superficie du bassin ferrifère appartenait à ce domaine et devait être exploité par galeries souterraines. L'exploitation à ciel ouvert ne pouvait se faire que sur les flancs de coteau et sur les promontoires. Les creux d'affaissement se situent donc avant tout sur le plateau bajocien. Ils sont rares sur les replats au droit desquels l'exploitation s'est faite surtout à ciel ouvert. Les nombreux entonnoirs du plateau sont souvent regroupés en champs et s'accompagnent fréquemment d'entonnoirs-mares. Ils se trouvent uniquement dans les bois, alors que les creux en forme d'auge sont localisés exclusivement sur les terrains agricoles. Les crevasses du plateau sont peu nombreuses par rapport à celles du talus.

Dans le bassin d'Esch-sur-Alzette, le plateau bajocien est réduit à plusieurs lanières étroites découpées par les cours d'eau anaclinaux. Le replat aalénien s'avance loin vers le nord et occupe une grande partie du terrain. La limite du domaine concessible ayant été fixée, dans ce bassin, à une épaisseur du recouvrement de 6 m seulement, les ciel-ouvert y ont connu un plus grand développement. L'exploitation souterraine restait cantonnée aux lanières de plateau et aux buttes qui dominent le replat aalénien. En conséquence, les creux d'affaissement sont beaucoup moins

représentés dans le bassin d'Esch-sur-Alzette que dans celui de Differdange, car le domaine exploité par galeries souterraines y est plus réduit. Sur les lanières de plateau, les entonnoirs peu nombreux mais de grande taille sont souvent isolés. Les champs d'entonnoirs ne réapparaissent que près de la frontière française, là où les lanières s'évasent en se rattachant au plateau de Briey. De même que dans le bassin de Differdange, les auges ne se rencontrent que sur les terrains agricoles. Les crevasses se retrouvent surtout sur la partie supérieure des talus et le long de la frontière franco-luxembourgeoise.

Dans les deux bassins, les affaissements en surface sont à l'image des travaux d'extraction en profondeur et sont calqués, dans tous les cas, sur la géométrie de la mine. La densité des **puits** et des **entonnoirs** dépend en premier lieu du taux de défruitement. Au-dessus de mines incomplètement dépillées, les entonnoirs sont isolés et peu nombreux, mais au fur et à mesure que le taux de défruitement augmente, le nombre des entonnoirs augmente aussi. La trame des galeries continue cependant toujours à transparaître en surface.

Le diamètre initial des entonnoirs est lié aux dimensions de la cheminée d'affaissement qui dépend elle-même de celles de la cavité minière sous-jacente. Les glissements qui s'opèrent sur les bords des entonnoirs changent, par la suite, les formes des entonnoirs avec un décalage plus ou moins grand dans le temps. L'ampleur de ces glissements dépend de la nature des formations superficielles, de la fissuration des roches et de la valeur des pentes sur lesquelles les affaissements se sont produits.

La profondeur des entonnoirs dépend de la hauteur de la cavité minière, du foisonnement des roches fracturées et de l'épanchement latéral des matériaux qui s'éboulent dans la mine.

Les entonnoirs peuvent se présenter sous différentes formes. Les puits, bien plus que comme une catégorie à part, doivent être considérés comme les précurseurs d'une partie des entonnoirs. Leurs parois subverticales, développées dans des roches calcaires très fissurées, sont peu stables et se transforment rapidement, sous l'action des éboulements et des glissements rotationnels, en pentes inclinées qui convergent vers un point. Ils prennent ainsi progressivement la forme d'entonnoirs.

Les entonnoirs circulaires sont les formes d'affaissement qui dominent sur les surfaces planes, au-dessus des mines au défruitement réduit. Ils sont en général isolés et de grande taille. Ils se forment au-dessus des endroits de la mine où la largeur du toit suspendu entre des bords fermes est maximale, c'est-à-dire notamment au-dessus des jonctions des galeries et des embranchements des chantiers.

Les entonnoirs elliptiques remplacent, par endroits, les entonnoirs circulaires. Ils sont peu nombreux en topographie plane où ils se forment au-dessus des tronçons droits des galeries dont les piliers latéraux constituent

des bords fermes. Leur profondeur est sensiblement plus faible que celle des entonnoirs circulaires. Un entonnoir circulaire au départ peut également se transformer par la suite en entonnoir elliptique si les glissements rotationnels se font de préférence sur l'un des côtés de l'entonnoir ou sur les deux côtés opposés. L'orientation des fissures dominantes des roches peut influencer ce développement.

Sur les fortes pentes des talus, les entonnoirs elliptiques constituent la règle. Ils y ont toujours un profil dissymétrique dont le point le plus bas est rejeté vers l'aval. Quelques entonnoirs récents dont l'évolution a pu être directement observée ont montré que les entonnoirs elliptiques de talus se forment à partir d'entonnoirs-puits circulaires, sous l'action des mouvements de terrain en surface. L'accroissement de la profondeur de l'entonnoir vers l'aval de la pente s'explique par les différences du foisonnement des roches qui change en fonction de l'épaisseur du recouvrement.

Les entonnoirs coalescents sont le résultat du recoupement des bords de deux ou de plusieurs entonnoirs voisins. Leur formation rappelle celle des ouvalas à partir de dolines. Ils sont fréquents au-dessus des mines à défrètement élevé. L'inégalité de leur fond s'explique par le rôle de l'épanchement qui profite au maximum à celui des entonnoirs qui se forme en premier.

Les entonnoirs-mares sont des entonnoirs d'affaissement dont le fond et une partie des versants ont été imperméabilisés par des argiles qui proviennent soit de la formation latéritique fossile qui se trouve sur le plateau bajocien, soit des marnes qui constituent la couche du toit du replat dit des marnes micacées.

Les **crevasses** de plateau sont toujours associées à des limites de concessions dont les piliers de sécurité constituent - au milieu des chantiers dépilés - des bords fermes le long desquels peuvent s'exercer les forces de cisaillement. Elles accusent en général un rejet important d'une des lèvres. Elles sont le plus souvent rectilignes et isolées. Comme la frontière nationale constitue en même temps une limite de concessions, les crevasses se greffent partout sur son tracé.

Les crevasses de talus sont dues à la tectonique de détente qui s'opère aux endroits où les roches de couverture sont déstabilisées par l'extraction du minerai en profondeur et subissent les forces de traction qui s'exercent dans le sens de la pente. Ces crevasses apparaissent en général par faisceaux pouvant regrouper une demi-douzaine de lignes parallèles. Elles présentent parfois un aspect "anastomosé". Leur ampleur peut fortement augmenter si elles sont situées vers l'aval-pendage ou si elles surplombent le front de taille d'une mine à ciel ouvert.

Sur les mêmes sites que les formes d'affaissement peuvent se trouver également des **pseudo-formes** qui leur ressemblent tout en ayant eu une autre origine. Ce sont essentiellement des cavités dues à des chablis et des

minières de fer fort. La ressemblance entre les formes d'affaissement authentiques et les pseudo-formes provient du fait que, sous l'influence des mêmes mouvements de terrains, les formes des deux types de creux ont tendance à converger.

Les **formes complexes** sont le résultat d'une longue évolution qui a fait apparaître aux mêmes endroits des creux d'affaissement qui appartiennent à des générations de formes différentes. Lorsque ces creux sont imbriqués ou emboîtés, il est souvent difficile d'en reconstituer les formes originales et les étapes qui ont conduit à la dépression complexe finale.

Les **auges** sont le résultat de l'altération des creux d'affaissement qui s'étaient formés dans les champs. L'atténuation des formes originales - crevasses ou entonnoirs - par comblement partiel et réduction des bords raides a permis la réutilisation des terrains agricoles. Elle a abouti à un nouveau type de formes de relief anthropiques.

Actuellement, les creux d'affaissement ne subissent que peu de changements. Les pentes de la plupart d'entre eux se sont stabilisées. De nouveaux affaissements ne se produisent plus qu'à un rythme ralenti. Le danger d'une recrudescence des affaissements provient surtout d'une tendance à réutiliser, pour les besoins de l'extension de l'infrastructure urbaine, ces terrains qui avaient été abandonnés auparavant à l'agriculture ou à la sylviculture. Ce danger est d'autant plus grand que, vu la faiblesse général du recouvrement, aucun terrain situé au-dessus d'une mine souterraine n'est définitivement à l'abri d'un affaissement. L'établissement d'une carte documentant les terrains sous-minés pourrait rendre des services incontestables en matière de prévention des risques d'affaissement.

Glossaire

au fond, au jour

en profondeur, en surface

chantier (syn. chambre, panneau)

quadrilatère délimité par traçage dans la couche d'exploitation

concession minière

autorisation d'extraire le minerai accordée par l'Etat; désigne aussi le périmètre de la surface concédée

couches intercalaires

couches rocheuses stériles ou pauvres en fer séparant des couches de minerai exploitables

couches stériles

couches non ferrugineuses ou trop pauvres en fer pour être exploitées

déblais

terres enlevées pour accéder au minerai

dépilage

phase finale de l'extraction par traçage et dépilage consistant à abattre les piliers laissés en place pour soutenir le toit de la mine

épanchement

glissement des roches éboulées dans les parties de la mine dont le toit est resté intact

exploitation par piliers perdus

exploitation par chambres et piliers où des piliers résiduels sont laissés en place

exploitation par traçages et dépilages (syn. exploitation par chambres et piliers)

méthode d'exploitation qui consiste à creuser des galeries délimitant des chantiers (traçages) puis d'extraire le minerai en laissant de moins en moins de roches en place et finalement de foudroyer les derniers piliers pour provoquer l'éboulement du toit (dépilages)

formation de la minette

ensemble des couches ferrifères et des couches intercalaires et encaissantes du Toarcien supérieur (lo6 et lo7) et de l'Aalénien (dou)

foisonnement

augmentation par fragmentation du volume des roches éboulées

foudroyage

procédé qui consiste à provoquer l'éboulement du toit d'un chantier par le torpillage des piliers résiduels

front de taille

surface verticale d'avancement de l'abattage (aussi abatage) du minerai

galerie de roulage

galerie destinée au transport des hommes, du matériel et du minerai

mine à ciel ouvert (*syn. ciel-ouvert, exploitation par découverte*)

exploitation du minerai effectuée à la surface du sol à l'aide d'un front de taille qui progresse horizontalement

mine de flanc de coteau

mine à ciel ouvert située sur un talus à hauteur de l'affleurement des couches de minerai; l'extraction du minerai peut s'y faire de plain-pied

mine souterraine

ensemble des installations destinées à extraire le minerai au fond

minerai de fer fort (*syn. minerai de fer pisolithique*)

formation superficielle de remplissage karstique; se compose de concrétions ferrugineuses mélangées en proportions variables à des argiles décalcifiées; le minerai pauvre en phosphore a donné un fer résistant (fer fort)

minerai de fer tendre (*syn. minerai de fer des prés*)

formation superficielle d'origine mixte se composant d'oolithes pris dans une gangue de fer formée dans des milieux humides riches en oxygène (pseudo-formation de fer des prés); le minerai riche en phosphore a donné un fer cassant (fer tendre)

minette

minerai de fer oolithique lorrain

minière

excavation au jour de faible dimension; nom couramment employé pour les exploitations de minerai de fer de surface; (terme utilisé au Luxembourg pour désigner l'ensemble des mines à ciel ouvert)

parements

parois latérales des galeries d'une mine

pilier

masse de minerai laissée en place pour soutenir le toit de la mine

pilier latéral

pilier laissée provisoirement ou définitivement en place pour protéger une galerie

puits d'aérage

puits destiné à aérer les galeries souterraines

puits d'exhaure

puits servant à évacuer les eaux d'infiltration d'une mine

recouvrement (*syn. couches de couverture*)

ensemble des couches stériles se trouvant au-dessus des couches ferrifères

remblayage

remplacement du minerai abattu par des terres stériles

stot de protection

partie de la mine où le défilage est interdit pour protéger l'infrastructure en surface (routes, habitations, etc.)

taux de défrètement

pourcentage du minerai extrait par rapport au minerai laissé en place sous forme de piliers

torpillage des piliers

destruction des piliers à l'aide d'explosifs

traçage

creusement de galeries parallèles pour délimiter des chantiers

Bibliographie

ARBOIT, G. & FERRAI, J.-B. (1997): *Terres-Rouges*, 286 p. (Comité d'Etablissement ARBED Mines Françaises Mine Terres Rouges) Audun-le-Tiche.

ARCAMONE, J. (1980): *Méthodologie d'étude des affaissements miniers en exploitation totale et partielle* (thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine), 100 p. Nancy.

ARCHILLES, H. & SCHULZ, H.-J. (1980): Geologische Untersuchungen in der Minette des Escher Beckens (Luxemburg), *Revue Technique Luxembourgeoise*, 3, p. 94-141, Luxembourg.

BELL, F. (1975): *Site investigations in areas of mining subsidence*, 168 p. (Newnes-Butterworths) London.

BELL, F. (ed) (1992): *Engineering in rock masses*, 580 p. (Butterworth-Heinemann) Oxford.

BERG, D. (1965): Die Klüfte im Paläozoikum und Mesozoikum von Luxemburg und der westlichen Eifel, *Publications du Service Géologique de Luxembourg*, XVI, 98 p. Luxembourg.

BINTZ, J., HARY, A., MULLER, A. (1973): Luxembourg. In: WATERLOT, G., BEUGNIES, A., BINTZ, J., *Ardenne, Luxembourg* (Guides géologiques régionaux), p. 135-188, (Masson) Paris.

BOSSELER, F. (1956): *La région industrielle de la Haute-Alzette* (thèse de l'Université de Lausanne, 1955), 130 p. (Bourg-Bourger) Luxembourg.

BRADSHAW, A. (1983): The restoration of mined land, In: WARREN, A., GOLDSMITH, F. (eds), *Conservation in perspective*, p. 177-199 (Wiley) Chichester.

BROOK, D. (1991): Abandoned limestone mines in the West Midlands of England - a strategy for action, In: *Land subsidence (IAHS Publication n° 200)*, p. 215-223, Wallingford.

BROOK, D. & COLE, K. (1986): Subsidence of abandoned limestone mines in the West Midlands of England, In: *Land subsidence (IAHS Publication n° 151)*, p. 675-685, Wallingford.

CLÉMENT, C. (1864): *Aperçu général de la constitution géologique et de la richesse minérale du Luxembourg*, 149 p. (Brück) Arlon.

COATES, D. (1987): Subsurface impacts, In: GREGORY, K., WALLING, D. (eds), *Human activity and environmental processes*, p. 271-304, (Wiley) Chichester.

COATES, D. (1987): Subsurface influences, In: GREGORY, K., WALLING, D. (eds), *Man and environmental processes: a physical geography perspective*, p. 163-190, (Butterworths) London.

COJEAN, R. & GAUTIER, P. (1984): Elaboration de cartes de sensibilité aux mouvements de terrain pour l'établissement des plans d'exposition aux risques, In: *Colloque: Mouvements de terrains*, (Documents du BRGM n° 83), p. 153-161, Caen.

CONSEIL INTERNATIONAL DE LA LANGUE FRANÇAISE (1979): *Vocabulaire de la géomorphologie*, 218 p. (Hachette) Paris.

COOKE, R. & DOORNKAMP, J. (1990): *Geomorphology in environmental management: a new introduction*, 410 p. (Clarendon Press) Oxford.

CORDEN, C. & KING, H. (1965): A field study of the development of surface subsidence, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2, p. 43-55, Oxford.

DAGORNE, A. & DARS, R. (1999): *Les risques naturels*, 128 p. (PUF) Paris.

DALSTEIN, G. (1994): *Les chantiers du fer, 1/ La conquête du fond*, 262 p. (Serpénoise) Metz.

DARMER, G. (1992): *Landscape and surface mining: ecological guidelines for reclamation*, 201 p. (Van Nostrand Reinhold) New York.

DAVIES, I., BROOK, C., ARGUILLE, R. (1974): Opencast coal mining: working, restoration and reclamation, In: JONES, M. (ed.) *Minerals and the environment*, p. 313-331, (The Institution of Mining and Metallurgy) London.

DEMEK, J. (1968): Beschleunigung der geomorphologischen Prozesse durch die Wirkung des Menschen, *Geologische Rundschau*, 58, pp. 111-121, Leipzig.

DÉSIRÉ-MARCHAND, J. (1981): *Carte géomorphologique du Grand-Duché de Luxembourg, à l'échelle du 1/100 000* (thèse de l'Université de Paris 4), 165 p. Paris.

DÉSIRÉ-MARCHAND, J. (1985): Notice de la carte géomorphologique du Grand-Duché de Luxembourg, *Bulletin du Service Géologique de Luxembourg*, 13, 47 p. Luxembourg.

DIKAU, R. (ed) (1996): *Landslide recognition: Identifications, movement and courses*, 251 p. (Wiley) Chichester.

DOERR, A. & GUERSELY, L. (1956): Man as a geomorphological agent: the example of coal mining, *Annals of the Association of American Geographers*, , 46, p. 197-210, Albany.

DOMERGUE, C. & HERAIL, G. (1978): *Mines d'or romaines d'Espagne. Le district de la Valduerna (Léon). Etude géomorphologique et archéologique* (thèse de l'Université de Toulouse-Le Mirail), 305 p. Toulouse.

- DONDELINGER, V. (1912): *Les concessions minières dans le Grand-Duché de Luxembourg*, 60 p. (Beffort) Luxembourg.
- DOWN, C. & STOCKS, J. (1977): *Environmental impact of mining*, 366 p. (Applied Science Publishers) London.
- DUMAS, B. et al. (1984): Mouvements de terrain et risques associés: présentation d'un essai cartographique, In: *Colloque: Mouvements de terrains*, (Documents du BRGM n° 83), p. 163-171, Caen.
- DUNRUD, C. (1984): Coal mine subsidence - western United States, *Reviews in Engineering Geology*, vol. 6: Man-induced land subsidence, p. 151-194, Boulder.
- EMBLETON, E. (ed) (1997): *Geomorphological hazards of Europe*, 524 p. (Elsevier) Amsterdam.
- FLAGEOLLET, J.-C. (1989): *Les mouvements de terrain et leur prévention*, 224 p. (Masson) Paris.
- GAUTIER, P. (1986): *Cartographie des glissements et affaissements miniers dans la région de Decazeville (Aveyron)*, (thèse de l'Ecole des Mines), 168 p. Paris.
- GEORGEN-JACOBY, A. (1937): *Die Gemeinde Differdingen von 1795 bis 1930*, 112 p. (Linden) Luxembourg.
- GOUDIE, A. (1993): *The human impact on the natural environment*, 4th edn, 454 p. (Blackwell) Oxford.
- GRARD, C. (1969): Les affaissements miniers et les moyens permettant de limiter leurs effets à la surface du sol, *Revue de l'Industrie Minérale*, 51, p. 35-70, Saint-Etienne.
- GRAY, R. & BRUHN, R. (1984): Coal mine subsidence - eastern United States, *Reviews in Engineering Geology*, vol. 6: Man-induced land subsidence, p. 107-149, Boulder.
- GREGORY, K. & WALLING, D. (1987): *Human activity and environmental processes*, 460 p. (Wiley) Chichester.
- GUILLOPE, P., PRUVOST, A., GIGOT, P. (1984): Cartographie des risques d'effondrements sur les plateaux hauts-normands, In: *Colloque: Mouvements de terrains*, (Documents du BRGM n° 83), p. 195-204, Caen.
- HAAS, H.-D. & FLEISCHMANN, R. (1991): *Geographie des Bergbaus*, 275 p. (Wissenschaftliche Buchgesellschaft) Darmstadt.
- HABY, R. (1970): Déformations de la surface du sol sous l'influence des cavités souterraines, *Annales de l'Est*, (mémoire n° 37), 274 p. Nancy.
- HAIGH, M. (1978): *Evolution of slopes on artificial landscapes - Blaenavon, UK*, 287 p. (University of Chicago, Research Paper n° 183), Chicago.

HEMPEL, L. (1954): Die Entstehung einiger anthropogen bedingter Oberflächenformen und ihre Ähnlichkeit mit natürlichen Formen, *Raumforschung und Landesplanung*, 28, p. 119-126, Bremen.

INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS (1977): *Ground subsidence*, 99 p. (Telford) London.

JOLY, F. (1997): *Glossaire de géomorphologie*, 324 p. (Colin) Paris.

KABOTH, D. (1969): *Zur Genese der Bohnerze und Raseneisenerze Luxemburgs* (Dissertation), 130 p. Münster.

KIENZLE, M.-U. (1968): Morphogenese des westlichen Luxemburger Gutlandes, *Tübinger Geographische Studien*, 27, 150 p. Tübingen.

KING, H., WHITTAKER, B., SHADBOLT, C. (1975): Effects of mining subsidence on surface structures, In: JONES, M. (ed.), *Minerals and the environment, Proceedings of an international symposium 1974*, p. 617-642, (The Institution of Mining and Metallurgy) London.

KLEIN, M. (1985): *Lëtzebuenger Biergbau an Zeechnung*, 235 p. (Musée national des mines) Rumelange.

KODISCH, N. (1981): *Studien zur Toponymie und Geschichte der Gemeinde Differdingen*, t.1 (1978) 494 p., t.2 (1981) 413 p. (Sankt-Paulus-Druckerei) Luxembourg.

KRATZSCH, H. (1974): *Bergschadenkunde*, 543 p. (Springer) Berlin.

LIMPACH, C. (1908): *Carte industrielle du bassin minier lorrain-luxembourgeois*, 51 p. (Huss) Luxembourg.

LUCIUS, M. (1945): Die Luxemburger Minetteformation und die jüngeren Eisenerzbildungen unseres Landes, *Publications du Service de la Carte géologique de Luxembourg*, IV, 347 p. Luxembourg.

LUCIUS, M. (1952): *Manuel de la géologie du Luxembourg*, 124 p. (Buck) Luxembourg.

LUCIUS, M. (1953): Quelques aspects de la géologie appliquée dans l'aire de sédimentation luxembourgeoise, *Publications du Service Géologique de Luxembourg*, IX, 279 p. Luxembourg.

MARTIN, P. (1998): *Ces risques que l'on dit naturels*, 256 p. (EDISUD) Aix-en-Provence.

MATHIAS, R., KUTKAN, E., ERLING, J. (1984): Risques d'effondrements liés aux anciennes carrières de la Ville de Caen, In: *Colloque: Mouvements de terrains*, (Documents du BRGM n° 83), p. 391-398, Caen.

McGREGOR, D. & THOMPSON, D. (ed.) (1995): *Geomorphology and land management in a changing environment*, 339 p. (Wiley) Chichester.

- METZLER, J. (1995): *Das treverische Oppidum auf dem Titelberg*, (2 vol.) 789 p. (Musée National d'Histoire et d'Art) Luxembourg.
- MIDDLETON, G. & WILCOCK, P. (1994): *Mechanics in the earth and natural sciences*, 459 p. (Cambridge University Press) Cambridge.
- MINISTERE DE L'AMENAGEMENT, et al. (1999): *Plans de prévention des risques naturels (PPR): Risques de mouvements de terrain*, 71 p. (La documentation française) Paris.
- NEBOIT, R. Les facteurs naturels et les facteurs humains de la morphogenèse: Essai de mise au point, *Annales de Géographie*, 490, p. 649-670, Paris.
- NEBOIT, R. (1991): L'homme et l'érosion, (2e éd), Faculté des Lettres et Sciences humaines de l'Université Blaise-Pascal, N.S. 34, 269 p. Clermont-Ferrand.
- NIR, D. (1983): *Man, a geomorphological agent, An introduction to anthropic geomorphology*, 165 p. (Reidel) Dordrecht.
- MANNION, A. (1991): *Global environmental change*, 404 p. (Longman) Harlow.
- ORCHARD, R. & ALLEN, W. (1975): Time-dependence in minig subsidence, In: JONES, M. (ed.), *Minerals and the environment, Proceedings of an international symposium 1974*, p. 643-659, (The Institution of Mining and Metallurgy) London.
- POTTS, E. (1975): Minig subsidence and the environment, In: JONES, M. (ed.), *Minerals and the environment, Proceedings of an international symposium 1974*, p. 661-683, (The Institution of Mining and Metallurgy) London.
- PRÉMOREL, A. de (1855): Rapport sur le terrain minier de Differdange, *Société des sciences naturelles du Grand-Duché de Luxembourg*, 3, p. 191-199, Luxembourg.
- PROUST, A. (1964): Etude sur les affaissements miniers dans le Bassin du Nord et du Pas-de-Calais, *Revue de l'Industrie Minérale*, 46, p. 547-581, Saint-Etienne.
- RATHJENS, C. (1979): *Die Formung der Erdoberfläche unter dem Einfluss des Menschen, Grundzüge der Anthropogenetischen Geomorphologie*, 160 p. (Teubner) Stuttgart.
- SALARI RAD, H. (1998) *Modélisation des affaissements dans le domaine aux données limitées. Application aux mines abandonnées dans le Nord de la France* (thèse de l'Institut National Polytechnique de Lorraine) Nancy.
- SCHILTZ, P. (1925): Das Bohnerz der Juraformation Luxemburgs, *Institut Grand-Ducal de Luxembourg, Section des sciences naturelles, physiques et mathématiques*, 9, p. 31-50, Luxembourg.
- SCHILTZ, P. (1937): Die Wege des Eisens durch Trias und Lias bis zum Niederschlag im unteren Dogger, *Société des Naturalistes Luxembourgeois*, 31, p. 97-162 (+ annexe photographique), Luxembourg.

- SCHINDLER, R. & KOCH, K. (1977): Vor- und frühgeschichtliche Burgwälle des Grossherzogtums Luxemburg, *Trierer Grabungen und Forschungen*, 13, 61 p. Mainz.
- SIRIEYS, P. (1984): Divers types de mécanismes de mouvements de terrain. In: *Colloque: Mouvements de terrains*, (Documents du BRGM n° 83), p. 75-80, Caen.
- STATHAM, I. & TREHARNE, G. (1991): Subsidence due to abandoned mining in South Wales Coalfields, U.K.: Causes, mechanisms and environmental risk assessment, In: *Land subsidence (IAHS Publication n° 200)*, p. 143-152, Wallingford.
- STORONI, A. (1975): *Géomorphologie du bassin de la Haute-Chiers*, (mémoire de maîtrise de l'Université de Metz), 135 p. Metz.
- STORONI, A. (1993): *Differdange. L'évolution d'un espace minier*, 139 p. (Administration Communale de Differdange) Differdange.
- STORONI, Ch. (éd.) (1999): D'Oarbecht am Tillebiërg an um Rollesbiërg, *Korspronk*, 18, 286 p. (Bulletin du Cercle historique de la Commune de Differdange) Differdange.
- THEIN, J. (1975): Sedimentologisch-stratigraphische Untersuchungen in der Minette des Differdinger Beckens, Publications du Service Géologique du Luxembourg, XXIV, 61 p. Luxembourg.
- TICHY, F. (1960): Die vom Menschen gestaltete Erde, *Die Erde*, 91, p. 241-257, Berlin.
- TINCELIN, E. (1957): *Pressions et déformations de terrain dans les mines de fer de Lorraine*, (thèse de l'Université de Nancy), 283 p. (Jouve) Paris.
- TINCELIN, E. & SINOÛ, P. (1962): Effondrements brutaux et généralisés. Coups de toit, *Revue de l'Industrie Minérale*, 44, p. 239-262, Saint-Etienne.
- TOY, T. & HADLEY, R. (1987): *Geomorphology and reclamation of disturbed lands*, 480 p (Academic Press) Orlando, London.
- TURNER, B., et al. (eds) (1990): *The Earth As Transformed by Human Action*, 713 p. (Cambridge University Press) Cambridge.
- WAGNER, J. (1921): *La sidérurgie luxembourgeoise avant la découverte du gisement de minettes*, 209 p. (Schroell) Diekirch.
- WALTHAM, A. (1989): *Ground subsidence*, 195 p. (Blackie) Glasgow.
- WALTHAM, A. (1994): *Foundations of engineering geology*, 88 p. (Blackie) Glasgow.
- WHITTAKER, B. & REDDISH, D. (1989): *Subsidence: Occurrence, prediction and control*, 523 p. (Elsevier) Amsterdam.
- WOHLRAB, B. (1967): Einwirkungen des Bergbaus auf Wasserhaushalt und Landwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung der deutschen Verhältnisse, *Berichte zur deutschen Landeskunde*, 39, p. 81-100, Bad Godesberg.

WOHLRAB, B., et al. (1995): *Oberflächennahe Rohstoffe: Abbau, Rekultivierung, Folgenutzung*, 304 p. (Fischer) Stuttgart.

- - -, (1915): *Rapport général sur la situation de l'industrie et du commerce pendant l'année 1914*, (Chambre de Commerce du Grand-Duché de Luxembourg) Luxembourg.

- - - (1998): Travaux souterrains et affaissements (dossier), *Géochronique*, 66, p. 4-17, Orléans.

Table des figures

Figure 1	<i>Le bassin ferrifère luxembourgeois</i>	13
Figure 2	<i>La formation de la minette et les couches de recouvrement dans les bassins ferrifères de Differdange et d'Esch-sur-Alzette</i>	14
Figure 3	<i>La formation de la minette et les couches de recouvrement</i>	16
Figure 4	<i>La formation du fer fort dans la carrière Klängelbur près de Differdange</i>	17
Figure 5	<i>Croquis morphologique du bassin ferrifère luxembourgeois</i>	19
Figure 6	<i>Coupe à travers le plateau de Differdange</i>	20
Figure 7	<i>Coupe à travers le plateau de Rumelange</i>	21
Figure 8	<i>Coupe à travers le fossé tectonique Esch-Rumelange</i>	21
Figure 9	<i>Mine à ciel ouvert, galeries et limite du concessible dans une exploitation du bassin d'Esch-sur-Alzette</i>	23
Figure 10	<i>Les concessions minières dans le bassin de Differdange</i>	25
Figure 11	<i>Les concessions minières dans le bassin d'Esch-sur-Alzette</i>	25
Figure 12	<i>L'exploitation par traçage et dépilage</i>	27
Figure 13	<i>La technique du dépilage</i>	28
Figure 14	<i>Plan d'exploitation de la couche calcareuse de la mine Grand Bois de la Chiers dans le bassin de Differdange</i>	29
Figure 15	<i>Traçage irrégulier des chantiers dans la mine Grand Bois de la Chiers dans le bassin de Differdange</i>	30
Figure 16	<i>Stot de protection, dans la couche grise, sous la route C.R. 176 du plateau de Differdange</i>	31
Figure 17	<i>La représentation cartographique des formes d'affaissement</i>	37
Figure 18	<i>La représentation cartographique de champs de creux d'affaissement</i>	37
Figure 19	<i>Tableau d'assemblage des extraits de cartes au 1:10 000</i>	38
Figure 20	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 1</i>	39
Figure 21	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 2</i>	40
Figure 22	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 3</i>	41
Figure 23	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 4</i>	42
Figure 24	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Differdange 5</i>	43
Figure 25	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Esch-sur-Alzette 1</i>	44
Figure 26	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Esch-sur-Alzette 2</i>	45
Figure 27	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Esch-sur-Alzette 3</i>	46
Figure 28	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Esch-sur-Alzette 4</i>	47
Figure 29	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Esch-sur-Alzette 5</i>	48
Figure 30	<i>La répartition des affaissements: extrait de carte Esch-sur-Alzette 6</i>	49
Figure 31	<i>La localisation des sites étudiés</i>	57
Figure 32	<i>Le site Baraque Bleue</i>	61
Figure 33	<i>Les couches géologiques sur le site Baraque Bleue</i>	62
Figure 34	<i>Plan d'exploitation de la couche rouge de la mine Tillebiérg-Extension</i>	64

Figure 35	Coupe à travers l'entonnoir n° 1 du site Baraque Bleue	65
Figure 36	La localisation des affaissements du site Baraque Bleue	66
Figure 37	Coupe longitudinale de l'entonnoir n° 17 du site Baraque Bleue	67
Figure 38	Coupe longitudinale du creux n° 28 du site Baraque Bleue	67
Figure 39	Profil en plan et coupes à travers les deux parties du creux n° 2 du site Baraque Bleue	67
Figure 40	Les affaissements du site Baraque Bleue et la géométrie de la mine	68
Figure 41	La crevasse du site Baraque Bleue	71
Figure 42	Coupe A à travers la crevasse du site Baraque Bleue	71
Figure 43	Coupe B à travers la crevasse du site Baraque Bleue	71
Figure 44	Le fossé du site Baraque Bleue	73
Figure 45	Coupes à travers le fossé du site Baraque Bleue	74
Figure 46	Les auges du site Baraque Bleue	75
Figure 47	Coupes transversales de l'auge A du site Baraque Bleue	76
Figure 48	Coupe transversale de l'auge B du site Baraque Bleue	76
Figure 49	Coupe transversale de l'auge C du site Baraque Bleue	77
Figure 50	Les auges et la géométrie de la mine du site Baraque Bleue	78
Figure 51	Le site Pellestack	80
Figure 52	Les couches géologiques sur le site Pellestack	81
Figure 53	La localisation des creux de subsidence du site Pellestack	83
Figure 54	Coupe à travers les entonnoirs coalescents n° 2 du site Pellestack	84
Figure 55	Coupe à travers les entonnoirs coalescents n° 12 du site Pellestack	85
Figure 56	Les creux d'affaissement du site Pellestack et le traçage des galeries dans la concession Grand Bois	86
Figure 57	Plan d'exploitation de la couche rouge dans la mine Grand Bois de 38 ha	87
Figure 58	La crevasse du site Pellestack en plan et en coupe	90
Figure 59	Coupes transversales de la crevasse du site Pellestack	91
Figure 60	Le fossé du site Pellestack	93
Figure 61	Coupes transversales du fossé du site Pellestack	94
Figure 62	Le site Longues Raies	95
Figure 63	Les couches géologiques sur le site Longues Raies	96
Figure 64	La localisation des creux d'affaissement du site Longues Raies	96
Figure 65	Le "puits-diaclases" du site Longues Raies en plan	97
Figure 66	Coupe à travers le puits du site Longues Raies	98
Figure 67	Glissement rotationnel sur la pente de l'entonnoir n° 3 du site Longues Raies	99
Figure 68	Plan et coupes à travers l'entonnoir n° 7 du site Longues Raies	100
Figure 69	Le site Tillebiert	102
Figure 70	La répartition schématique des entonnoirs, des entonnoirs-mares, des mares et d'une crevasse sur le site Tillebiert	103
Figure 71	Les principales fosses karstiques ferrifères du plateau de Differdange	105
Figure 72	Le site Origerbësch	108
Figure 73	La répartition des entonnoirs du site Origerbësch	109
Figure 74	Coupes à travers deux entonnoirs du site Origerbësch	111
Figure 75	Le site Koepchen	114

Figure 76	Les entonnoirs du site Koepchen sur une photo aérienne de 1951	115
Figure 77	Le site Kalebiërg	119
Figure 78	Les couches géologiques sur le site Kalebiërg	120
Figure 79	Coupe transversale de l'entonnoir n° 3 du site Kalebiërg	121
Figure 80	Coupe transversale de l'entonnoir n° 4 du site Kalebiërg	121
Figure 81	La localisation des affaissements du talus du site Kalebiërg	122
Figure 82	Coupe transversale de l'entonnoir-puits n° 7 du site Kalebiërg	123
Figure 83	L'évolution présumée des entonnoirs du site Kalebiërg, à l'exemple de l'entonnoir-puits n° 7	123
Figure 84	Coupes transversales de la crevasse principale du site Kalebiërg	125
Figure 85	La tectonique de détente et ses effets sur la surface topographique du site Kalebiërg	126
Figure 86	Le site Tëtelbiërg	128
Figure 87	Les couches géologiques sur le site Tëtelbiërg	129
Figure 88	La localisation des affaissements au nord du Tëtelbiërg	131
Figure 89	Le replat en gradins à l'ouest de l'étang 1 du site Tëtelbiërg	132
Figure 90	Coupe transversale de la dépression du site Tëtelbiërg à hauteur de l'étang 2	132
Figure 91	Coupe transversale de la dépression du site Tëtelbiërg à hauteur de l'étang 3	133
Figure 92	Coupe transversale de la dépression du site Tëtelbiërg à hauteur de l'étang 4	133
Figure 93	Coupe transversale de la dépression du site Tëtelbiërg à hauteur de l'étang 5	133
Figure 94	Coupe transversale de la dépression du site Tëtelbiërg à hauteur de l'étang 6	134
Figure 95	Coupe transversale de la dépression du site Tëtelbiërg à hauteur de l'entonnoir 12	134
Figure 96	Coupe transversale de la dépression à l'est du site Tëtelbiërg	134
Figure 97	Coupes transversales des étangs 1, 3 et 5 du site Tëtelbiërg	135
Figure 98	Crevasse à l'est du site Tëtelbiërg	138
Figure 99	L'affaissement des terrains à l'est du site Tëtelbiërg	141
Figure 100	L'exploitation minière mixte au nord du Tëtelbiërg	143
Figure 101	Les affaissements et l'exploitation minière au nord du Tëtelbiërg (essai de reconstitution)	146
Figure 102	Morphogenèse des creux d'affaissement du site Tëtelbiërg	148
Figure 103	Le site Grand Bois	150
Figure 104	Les couches géologiques sur le site Grand Bois	151
Figure 105	La localisation des crevasses et des coupes du site Grand Bois	152
Figure 106	Croquis de situation des coupes 1 et 2 du site Grand Bois	153
Figure 107	Coupe 1 à travers le talus du site Grand Bois	154
Figure 108	Coupe 2 à travers le talus du site Grand Bois	155
Figure 109	Coupe 3 à travers la crevasse du plateau du site Grand Bois	158
Figure 110	Coupe 4 à travers la crevasse du plateau du site Grand Bois	158
Figure 111	Le site Eisekaul	161
Figure 112	Le puits du site Eisekaul en plan	162
Figure 113	Coupe NE-SW à travers le puits du site Eisekaul	163
Figure 114	Coupe NW-SE à travers le puits du site Eisekaul	163
Figure 115	La localisation du puits du site Eisekaul par rapport à la géométrie de la mine	165

Figure 116	<i>L'éboulement au fond et ses répercussions en surface dans des mines de charbon partiellement exploitées</i>	169
Figure 117	<i>Entonnoirs traduisant la géométrie d'une mine de charbon du Colorado exploitée par la méthode des chambres et piliers</i>	171
Figure 118	<i>Le rôle des piliers résiduels dans le développement des affaissements</i>	172
Figure 119	<i>Le diamètre de la cheminée de subsidence et les dimensions des cavités minières sous-jacentes</i>	172
Figure 120	<i>La formation de l'entonnoir n° 1 du site Baraque Bleue sous l'influence des mouvements de masse verticaux et horizontaux</i>	173
Figure 121	<i>La largeur du toit suspendu et l'épanchement des roches éboulées en relation avec le type de cavités minières</i>	174
Figure 122	<i>L'influence du foisonnement et de l'épanchement des roches sur la profondeur des entonnoirs</i>	175
Figure 123	<i>L'épaisseur du recouvrement et la valeur du foisonnement des roches sur les surfaces topographiques en pente</i>	177
Figure 124	<i>L'évolution probable du puits du site Eisekaul, à défaut de remplissage artificiel</i>	180
Figure 125	<i>Le développement des entonnoirs de pente</i>	181
Figure 126	<i>La formation d'entonnoirs coalescents de profondeur inégale</i>	185
Figure 127	<i>Limites de concessions au lieu-dit Kalebierg</i>	193
Figure 128	<i>Crevasses et entonnoirs associés le long d'une limite de concessions</i>	194
Figure 129	<i>Crevasse parallèle à la limite du concessible sur le site Tételbierg</i>	195
Figure 130	<i>Crevasses de bordure de plateau</i>	197
Figure 131	<i>Coupe à travers l'entonnoir elliptique du site Laangebierg</i>	209
Figure 132	<i>Coupe à travers le puits du site Laangebierg</i>	209
Figure 133	<i>Entonnoirs d'effondrement et cuvettes d'affaissement au-dessus d'une exploitation par chambres et piliers</i>	213

Table des photos

Photo 1	<i>Le Calcaire corallien et les formations superficielles dans la carrière Baraque Bleue</i>	62
Photo 2	<i>L'entonnoir-mare n° 1 du site Baraque Bleue</i>	70
Photo 3	<i>La crevasse du site Baraque Bleue</i>	72
Photo 4	<i>L'entonnoir-mare n° 10 du site Pellestack lors d'une période sèche</i>	88
Photo 6	<i>La crevasse du site Pellestack</i>	92
Photo 7	<i>Le puits du site Longues Raies</i>	97
Photo 8	<i>Terrassettes de glissement sur un des versants de l'entonnoir n° 7 du site Longues Raies</i>	99
Photo 9	<i>L'argile de décalcification en suspension dans l'eau d'une mare du site Tillebiert</i>	106
Photo 10	<i>L'entonnoir n° 1 du site Origerbësch</i>	112
Photo 11	<i>Le remblai de l'entonnoir n° 1 du site Origerbësch</i>	112
Photo 12	<i>Les auges du site Koeppchen</i>	116
Photo 13	<i>L'entonnoir-puits n° 7 du site Kalebiert</i>	124
Photo 14	<i>Crevasse apparaissant au sommet de la paroi de l'entonnoir-puits n° 8 du site Kalebiert</i>	126
Photo 15	<i>L'étang n° 1 du site Tëtelbiert par basses eaux</i>	136
Photo 16	<i>Galerie de la couche rouge débouchant sur le front de taille au pied de l'étang n° 1 du site Tëtelbiert</i>	143
Photo 17	<i>Le raccordement progressif des bords de l'étang n° 5 au fond de la dépression du site Tëtelbiert</i>	147
Photo 18	<i>La crevasse "d" du site Grand Bois</i>	156
Photo 19	<i>Le puits du site Eisekaul</i>	162
Photo 20	<i>La galerie au fond du puits du site Eisekaul</i>	164
Photo 21	<i>Le puits du site Eisekaul remblayé quelques semaines après son apparition</i>	166
Photo 22	<i>Effondrement du toit et épanchement des roches, dans la mine Dhoil près de Rodange</i>	175
Photo 23	<i>Galerie apparente au fond d'un puits au lieu-dit Laangebiert près de Dudelange</i>	178
Photo 24	<i>Glissement rotationnel sur le bord d'un entonnoir du site Longues Raies</i>	183
Photo 25	<i>Creux d'origine karstique contenant la formation du fer fort, dans la carrière de l'Intermoselle voisine du site Origerbësch</i>	186
Photo 26	<i>Entonnoir-mare au lieu-dit Ellergronn près d'Esch-sur-Alzette</i>	188
Photo 27	<i>Crevasse marquant la frontière franco-luxembourgeoise sur le plateau de Saulnes-Rodange</i>	192
Photo 28	<i>Crevasse au lieu-dit Kalebiert</i>	193
Photo 29	<i>Crevasse du site Grand Bois "bouchée" à faible profondeur par la végétation et les matériaux de glissement</i>	196
Photo 30	<i>Fissures donnant sur un puits-diaclases au lieu-dit Herenterbiert</i>	198
Photo 31	<i>Ancienne minière de fer fort ennoyée, sur le site Tillebiert</i>	203
Photo 32	<i>Dépression complexe au lieu-dit Laangebiert</i>	208
Photo 33	<i>Relief ondulé au lieu-dit Stronk du plateau de Differdange</i>	211
Photo 34	<i>L'évolution d'un entonnoir ...</i>	212
Photo 35	<i>... en auge mollement ondulée par comblement et labours, au lieu-dit Bache Jang</i>	212

<i>Photo 36</i>	<i>Le remblayage partiel d'un creux d'affaissement du plateau de Differdange</i>	215
<i>Photo 37</i>	<i>Effets des forces de cisaillement sur un pilier en béton, abandonné depuis une trentaine d'années</i>	218

Liste des tableaux

<i>Tableau 1</i>	<i>La part de terrains miniers concessibles et non concessibles</i>	24
<i>Tableau 2</i>	<i>Les entonnoirs du site Baraque Bleue</i>	65
<i>Tableau 3</i>	<i>Les creux de subsidence du site Pellestack</i>	82
<i>Tableau 4</i>	<i>Les entonnoirs du site Origerbësch</i>	109
<i>Tableau 5</i>	<i>Les entonnoirs situés sur le talus du site Kalebiërg</i>	120
<i>Tableau 6</i>	<i>Affaissements miniers recensés en 1894</i>	217

Table des matières

Avant-propos	3
Résumé	4
Abstract	5
Introduction	7
Première partie:	
Le bassin ferrifère luxembourgeois, son exploitation et la répartition des formes d'affaissement	11
Chapitre 1: Le bassin ferrifère et son exploitation	12
1.1 Le bassin ferrifère	13
1.1.1 La situation	13
1.1.2 Le sous-sol	15
1.1.3 La formation "du fer fort"	17
1.1.4 Le relief	18
1.2 L'exploitation minière	22
1.2.1 Aperçu historique	22
1.2.2 Les concessions minières	24
1.2.3 L'extraction souterraine	26
Chapitre 2: Classement et répartition des affaissements	33
2.1 Classement et représentation cartographique	35
2.1.1 Classification des affaissements	35
2.1.2 Cartographie des formes d'affaissement	37
2.2 Répartition des formes d'affaissement	50
2.2.1 Les affaissements de plateau	50
2.2.2 Les affaissements de talus	53
2.2.3 Le choix des sites étudiés en détail	55
Deuxième partie:	
Géomorphologie des sites majeurs et mécanismes de formation des formes d'affaissement	59
Chapitre 3: Les affaissements du plateau	60
3.1 Les formes associées du site Baraque Bleue	61
3.1.1 Le site	61
3.1.2 Les entonnoirs	63
3.1.3 Les entonnoirs-mares	69

3.1.4	La crevasse	70
3.1.5	Le fossé	73
3.1.6	Les auges	74
3.2	Les formes associées du site Pellestack	80
3.2.1	Le site	80
3.2.2	Les entonnoirs	82
3.2.3	Les entonnoirs-mares	88
3.2.4	La crevasse complexe	89
3.2.5	Le fossé	92
3.3	Les entonnoirs du site Longues Raies	95
3.3.1	Le site	95
3.3.2	Les creux d'affaissement	96
3.4	Les entonnoirs-mares du site Tillebiere	102
3.4.1	Le site	102
3.4.2	Les entonnoirs-mares	103
3.5	Les entonnoirs du site Origerbësch	108
3.5.1	Le site	108
3.5.2	Les entonnoirs	108
3.6	Les auges du site Koeppchen	114
3.6.1	Le site	114
3.6.2	Les auges	114
Chapitre 4: Les affaissements du talus et des replats		117
4.1	Les formes associées du site Kalebiere	119
4.1.1	Le site	119
4.1.2	Les entonnoirs	120
4.1.3	Les crevasses	124
4.2	Les formes associées du site Tëtelbiere	128
4.2.1	Le site	128
4.2.2	La dépression	130
4.2.3	Les étangs	135
4.2.4	Les entonnoirs	137
4.2.5	Les crevasses	137
4.2.6	Les interprétations morphogénétiques existantes	138
4.2.7	Formes d'affaissement et modes d'exploitation	141
4.3	Les crevasses du site Grand Bois	150
4.3.1	Le site	150
4.3.2	Les crevasses du talus	152
4.3.3	Les crevasses du plateau	157
4.3.4	La pseudo-crevasse du vallon	159

4.4	Le puits du site Eisekaul	161
4.4.1	Le site	161
4.4.2	Le puits	161
Troisième partie:		
	Essai de typologie génétique des formes d'affaissement	167
Chapitre 5: Les entonnoirs et les puits d'affaissement		168
5.1	Le mécanisme général: la relation mine-surface	169
5.1.1	La densité des entonnoirs	169
5.1.2	Les dimensions des entonnoirs	171
5.2	Les différents types d'entonnoirs	178
5.2.1	Les puits, formes initiales éphémères	178
5.2.2	Les entonnoirs circulaires, formes isolées et pionnières	180
5.2.3	Une variante: les entonnoirs elliptiques	182
5.2.3.1	Les entonnoirs elliptiques de plateau	182
5.2.3.2	Les entonnoirs elliptiques de talus	183
5.2.4	Les entonnoirs coalescents	184
5.2.5	L'eau et les entonnoirs: les entonnoirs-mares	185
5.2.5.1	Les entonnoirs-mares de plateau	185
5.2.5.2	Les entonnoirs-mares du replat des marnes micacées	187
Chapitre 6: Les crevasses		189
6.1	Les crevasses de plateau, aux limites des concessions	191
6.2	Les crevasses de talus et de replat	195
6.2.1	Les crevasses de talus, aux limites des concessions	195
6.2.2	Les crevasses de talus dues à la tectonique de détente	196
6.2.3	Les fissures élargies, sur les replats	198
Chapitre 7: Les pseudo-formes		199
7.1	Les pseudo-entonnoirs	201
7.2	Les pseudo-crevasses	203
Chapitre 8: L'évolution des formes d'affaissement		205
8.1	Les formes complexes	207

8.1.1	Les fossés	207
8.1.2	Les dépressions irrégulières	208
8.2	Les "formes d'atténuation": les auges	210
8.3	Vers une réhabilitation des terrains	214
8.3.1	La gestion des affaissements	214
8.3.1.1	Durant l'exploitation	214
8.3.1.2	Depuis 1981	215
8.3.2	L'évaluation des risques d'affaissement	217
	Conclusions	221
	Glossaire	225
	Bibliographie	228
	Table des figures	235
	Table des photos	239
	Liste des tableaux	240
	Table des matières	241

ISBN 2-919994-05-0

