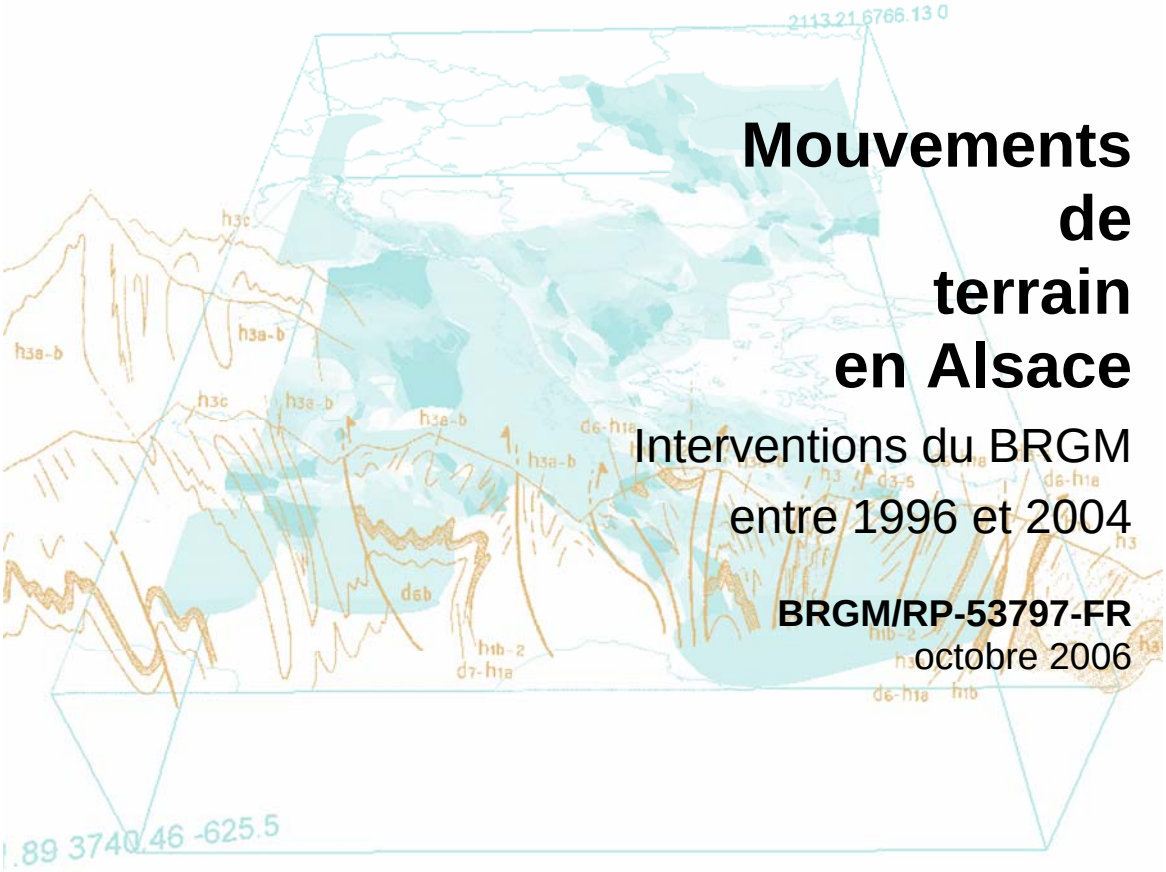
Document public



Mouvements de terrain en Alsace

Interventions du BRGM entre 1996 et 2004

BRGM/RP-53797-FR
octobre 2006

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Document public

Mouvements de terrain en Alsace

Interventions du BRGM entre 1996 et 2004

BRGM/RP -53797-FR
octobre 2006

Étude réalisée dans le cadre des opérations
de Service public du BRGM 2006 PIRA02

**M. Chabart, D. Cruz Mermy, M. Daesslé,
P. Elsass, M. Messin, A. Vial, S. Westermann**

Géosciences pour une Terre durable
brgm

Mots clés : mouvements de terrain, Achenheim, Bisel, Ferrette, Kappelen, Kienheim, Landser, Leymen, Oberhaslach, Rothau, Soultzmatt, Steinbach, Steinbrunn-le-Bas, Ueberstrass, Wangenbourg, Wissembourg, Zellenberg, Sundgau, Bas Rhin, Haut Rhin, Alsace.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :
Chabart M., Cruz Mermy D., Daesslé M., Messin M., Elsass P., Vial A., Westermann S. (2006) – Mouvements de terrain en Alsace, interventions du BRGM en 1998 et 2004. BRGM/RP-53797-FR, 222 p, 73 ill.

© BRGM, 2006, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

Synthèse

Les autorités préfectorales des préfectures du Haut-Rhin et du Bas-Rhin (Services Interministériels de Défense et de Protection Civile) confient au BRGM, dans le cadre de l'appui aux Administrations, des missions de diagnostic de mouvements de terrain afin d'éclairer l'action de l'Administration lorsque surviennent des événements de ce type, notamment en cas de crise.

Les avis et observations remis à l'Administration à l'occasion de ces interventions du BRGM s'inscrivent dans l'urgence et sont souvent remis sous forme de courriers ou de notes techniques archivées localement. Ces documents couvrant la période de 1996 à 2004 se sont révélés fort utiles lors des inventaires départementaux des mouvements de terrain du Haut-Rhin et du Bas-Rhin réalisés pour le MEDD entre 2003 et 2006. Aussi est-il paru intéressant de les rassembler dans un seul document pour les mettre à la disposition du public.

Les 17 interventions réalisées par le Service géologique régional Alsace entre 1996 et 2004 couvrent divers types de mouvements de terrain répartis sur les deux départements de la région Alsace (67 Bas-Rhin et 68 Haut-Rhin) :

glissements de terrain : 6 sites :

- mouvements de terrain à Kienheim (67) en 1998 ;
- mouvements de terrain à Ueberstrass (68) en 1999 ;
- glissement de terrain à Soultzmatt (68) en 2001 ;
- glissement de terrain à Weiler/Wissembourg (67) en 2001 ;
- glissement de terrain à Wangenbourg (67) en 2001 ;
- glissement de terrain au Schneeberg à Wangenbourg-Engenthal (67) en 2004.

coulées de boue et lave torrentielle : 3 sites :

- coulées de boue à Landser (68) en 2001 ;
- coulées de boue à Steinbrunn-le-Bas (68) en 2001 ;
- coulées de boue au Nord du Sundgau et au Sud de Mulhouse (68) en 2002.

chutes de blocs : 3 sites :

- menaces de chutes de rochers sous le château de Ferrette (68) en 1996 ;
- détachement d'un rocher au château du Landskron à Leymen (68) en 2001 ;
- mouvements de terrain à Achenheim (67) en 2003.

effondrements et affaissements : 5 sites

- effondrement de sol avec fontis à Oberhaslach (67) en 1998 ;
- affaissement à Bisel (68) en 1999 ;
- effondrement de fontis à Rothau (67) en 2000 ;
- effondrement de terrain à Kappelen (68) en 2001 ;
- effondrement à Steinbach (68) en 2003.

Chaque cas est présenté à partir du document rédigé après l'intervention. Cette synthèse, réalisée en complément des inventaires départementaux des mouvements de terrain du Haut-Rhin et du Bas-Rhin, fournit une illustration particulièrement intéressante des grands types de mouvements de terrain susceptibles de se produire dans ces départements.

Sommaire

1. INTRODUCTION 9

2. LES GLISSEMENTS DE TERRAINS 11

2.1. GENERALITES 11
2.2. MOUVEMENTS DE TERRAIN A KIENHEIM (67) EN 1998 13
2.3. MOUVEMENTS DE TERRAIN A UEBERSTRASS (68) EN 1999 27
2.4. GLISSEMENT A SOULTZMATT (68) EN 2001 48
2.5. GLISSEMENT DE TERRAIN A WEILER/ WISSEMBOURG (67) EN 2001 55
2.6. GLISSEMENT DE TERRAIN A WANGENBOURG (67) EN 2001 70
2.7. GLISSEMENT DE TERRAIN A WANGENBOURG-ENGENTHAL (67) EN 2004 75

3. LES COULEES DE BOUES ET LAVES TORRENTIELLES 91

3.1. GENERALITES 91
3.2. COULEES DE BOUE A LANDSER (68) EN 2001 92
3.3. COULEES DE BOUE A STEINBRUNN-LE-BAS (68) EN 2001 100
3.4. COULEES DE BOUE AU SUD DE MULHOUSE (68) EN 2002 113

4. LES CHUTES DE BLOCS ET LES EBOULEMENTS 127

4.1. GENERALITES 127
4.2. MENACES DE CHUTES DE ROCHERS A FERRETTE (68) EN 1996. 128
4.3. DETACHEMENT D'UN ROCHER A LEYMEN (68) EN 2001 139

5. LES EFFONDREMENTS/ AFFAISSEMENTS 153

5.1. GENERALITES 153
5.2. EFFONDREMENT DE SOL AVEC FONTIS A OBERHASLACH (67) EN 1998 154
5.3. AFFAISSEMENT A BISEL (68) EN 1999 159
5.4. EFFONDREMENT A ROTHAU (67) EN 2000 166
5.5. EFFONDREMENT A KAPPELEN (68) EN 2001 183
5.6. EFFONDREMENT A STEINBACH (68) EN 2003 197
5.7. MOUVEMENT DE TERRAIN A ACHENHEIM (67) EN 2003 206

6. BIBLIOGRAPHIE 219

Liste des illustrations

illustration 1 - Les mouvements de terrain 10
illustration 2 - Types de glissements de terrain (extrait du site www.bdmvt.net) 11
illustration 3 - Situation du lotissement du Hüneberg à Kienteim 25
illustration 4 - Situation du glissement dans le lotissement (Echelle approx. 1/2000) – A : maison Da Fies, B : maison Beckerich, C : lèvre supérieure du glissement rue Hüneberg, D : bourrelet de pied, rue des Vignes 26
illustration 5 - Plan de localisation des sites étudiés au 1/12 500 28
illustration 6 - Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Belfort (444) 30
illustration 7 - Coupe schématique du flanc Ouest de la vallée de la Largue 31
illustration 8 - Plan de situation de la propriété de M. Triolet et principales observations.. 32
illustration 9 - Plan de situation de la propriété de Mme Durliat et principales observations 38
illustration 10 - Plan de localisation du glissement de terrain situé entre agglomération de Soutzmatt et village de Wintzfelden- Échelle 1/25000 53
illustration 11 - Plan de positionnement du glissement de terrain affectant la ferme du Blumenstein. Échelle 1/5000 54
illustration 12 - Carte de localisation du glissement de terrain de Weiler près de Wissembourg (échelle 1/25000) 62
illustration 13 - Contexte géologique de la région du glissement de terrain de Weiler à Wissembourg 63
illustration 14 - Plan de détail du glissement de terrain 64
illustration 15 - Schéma de localisation de l'éboulement 72
illustration 16 - Carte de localisation 73
illustration 17 - Carte détaillée du glissement de terrain sur la commune de Wangenbourg-Engenthal 78
illustration 18 - Vue générale du glissement le 24/04/2004 avec au premier plan la zone de dépôt 85
illustration 19 - Vue générale du glissement le 15/01/2004 86
illustration 20 - Décrochement sommital 86
illustration 21 - Amplitude du glissement en tête (2,5 m à 3 m) 87
illustration 22 - Gros bloc déplacé 87
illustration 23 - Projection de boue en aval de la loupe de glissement de tête 88
illustration 24 - Forte pente et décrochements en aval de l'abri du Schneeberg 89
illustration 25 - Forte pente et décrochements à l'ouest de l'abri du Schneeberg 90
illustration 26 - Corniche rocheuse démantelée au-dessus du GR et de la source du Schneeberg 90
illustration 27 - "Exemple de coulée de boues en région montagneuse" (extrait du site www.bdmvt.net) 91
illustration 28 - Coulée de boue de Landser/Steinbrunn-le-Bas : plan de localisation Echelle : 1/25000 96
illustration 29 - Contexte géologique – Echelle 1/2500 97
illustration 30 - Coulées de boue de Landser/Steinbrunn-le-Bas : zones submergées ou touchées par des coulées, échelle 1/10000 98

illustration 31 - Zone d'alimentation de la coulée de boue 99
illustration 32 - Coulée de boue de Steinbrunn-le Bas : zones submergées ou touchées par des coulées, échelle : 1/10000..... 106
illustration 33 - Coulées de boue du Sud de Mulhouse : plan de localisation Echelle 1/50000 120
illustration 34 - Coulées de boue du 20/06/2002 au Sud de Mulhouse : contexte géologique échelle 1/5000 121
illustration 35 - Chutes de blocs (extrait du site www.bdmvt.net)..... 127
illustration 36 - Situation – Echelle 1/25000 133
illustration 37 - Situation cadastrale – Echelle 1/1000..... 134
illustration 38 - Illustrations anciennes..... 135
illustration 39 - Représentations schématiques..... 136
illustration 40 - Extrait de la carte IGN3721 et Huningue-Bâle (Echelle approximative 1/20 000) 140
illustration 41 - Extrait de l'Encyclopédie de l'Alsace (vol.8, 1984) : photo du château du Landskron et plan datant de 1764 (extrait du Burgenlexikon)..... 141
illustration 42 - Extrait de la carte géologique à 1/50 000 de Ferrette n°476..... 142
illustration 43 - Extrait du schéma tectonique à 1/400 000 tiré de la carte géologique à 1/50 000 de Ferrette n°476. 142
illustration 44 - Extrait de la coupe nord-sud passant par le chaînon du Landskron tiré de la carte géologique à 1/50 000 de Ferrette n°476. 143
illustration 45 - Carte du château et localisation des observations..... 144
illustration 46 - Exemple d'effondrement dans le jardin d'un particulier (extrait de www.bdmvt.net)..... 153
illustration 47 - Oberhaslach (67), effondrement de sol du 24/01/1998 Plan de situation156
illustration 48 - Effondrement de sol avec fontis à l'école maternelle d'Oberhaslach (67) Fontis dans le talus au fond de la cour ; ouverture de 60 cm de diamètre environ 157
illustration 49 - Fontis dans le talus ; aperçu du fond de la cavité et/ou des parois latérales..... 157
illustration 50 - Vue générale du site de l'effondrement 158
illustration 51 - Oberhaslach : affleurement des calcaires à Cératites du Muschelkalk... 158
illustration 52 - Schéma de l'affaissement au 9 rue Moernach..... 161
illustration 53 - Courrier de M. Wendenbaum à la Préfecture 172
illustration 54 - Carte géologique des gisements de la vallée de la Bruche 173
illustration 55 - Carte géologique de 1806..... 174
illustration 56 - Coupe interprétative suivant l'axe du travers-banc présumé 175
illustration 57 - Croquis de situation de l'effondrement actuel d'après plan cadastral..... 176
illustration 58 - Localisation des effondrements connus à Rothau sur agrandissement au 1/2000 de la carte topographique IGN 177
illustration 59 - Carte de localisation..... 189
illustration 60 - Extrait carte géologique 190
illustration 61 - Localisation de l'effondrement sur carte cadastrale de Kappelen au 1/5000ème 191
illustration 62 - Localisation de l'effondrement sur carte cadastrale de Kappelen au 1/1000ème 192
illustration 63 - Schéma de la galerie souterraine sur fond cadastral. Echelle : 1/100.... 193
illustration 64 - Vue du fontis 201

illustration 65 - Vue rapprochée de l'orifice débouchant au jour 202
illustration 66 - Emplacement du fontis par rapport à l'abri garage.....202
illustration 67 - Vue des écoulements dans le talus (la température plus élevée de l'eau profonde favorise la fonte de la neige) 203
illustration 68 - Positionnement du fontis par rapport au réseau de l'Ourcq 203
illustration 69 - Plan détaillé de la galerie reconnue (extrait du rapport de MM Latasse et Bohly).....204
illustration 70 - Situation de la tranchée de l'Ourcq 205
illustration 71 - Plan de localisation du lotissement sur fond de carte IGN au 1/25000. .210
illustration 72 - Plan de masse actuel modifié après effondrement de l'écaille de loess .211
illustration 73 - Plan de masse initial.....212

1. Introduction

Le BRGM, dans le cadre de ses actions de service public, est chargé d'une mission d'Appui aux administrations qui comprend la prévention des risques naturels. Les services géologiques régionaux du BRGM sont ainsi amenés à intervenir lors de désordres dus à des mouvements de terrain, pour identifier, diagnostiquer et recenser ces phénomènes.

Le présent rapport a pour but de regrouper les notes techniques récentes traitant de mouvements de terrains survenus sur le territoire alsacien entre 1996 et 2004, sur lesquels le Service géologique régional Alsace a eu à intervenir à la demande des autorités préfectorales, et de les classer par type de mouvement afin de permettre une recherche et une consultation des archives plus rapides.

En effet, les avis et observations remis à l'Administration à l'occasion des interventions du BRGM s'inscrivent dans l'urgence et sont souvent remis sous forme de courriers ou de notes techniques archivées localement. Ces documents se sont révélés fort utiles lors des inventaires départementaux des mouvements de terrain du Haut-Rhin et du Bas-Rhin réalisés pour le MEDD (Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable) entre 2003 et 2006 (Cruz Mermy et Perrin, 2004, 2005 ; Westermann et Cruz Mermy, 2005, Vouaux *et al.*, 2006a).

Aussi est-il paru intéressant de rassembler les notes techniques et petits rapports réalisés dans le cadre des interventions du BRGM sur des mouvements de terrain en Alsace dans un seul document pour les mettre à la disposition du public. Ce travail de synthèse, réalisé dans le cadre de l'Appui aux administrations, s'inscrit ainsi en complément de la mission du BRGM d'inventaire départemental des mouvements de terrain réalisée pour le compte du MEDD.

Les mouvements de terrains sont définis dans la procédure de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle comme la manifestation du déplacement gravitaire de terrains déstabilisés par l'action d'agents naturels (pluie, neige, sécheresse, séisme). Ces phénomènes plus ou moins brutaux peuvent être soit lents et continus comme le tassement, par consolidation de terrains très compressibles (vases, tourbes), soit rapides et discontinus comme les coulées boueuses.

On distingue ainsi 6 types de mouvements de terrain (illustration 1) :

- les glissements de terrain,
- les coulées de boues,
- les chutes de blocs et les éboulements,
- les effondrements/affaissements,
- les érosions de berges,
- le retrait gonflement.

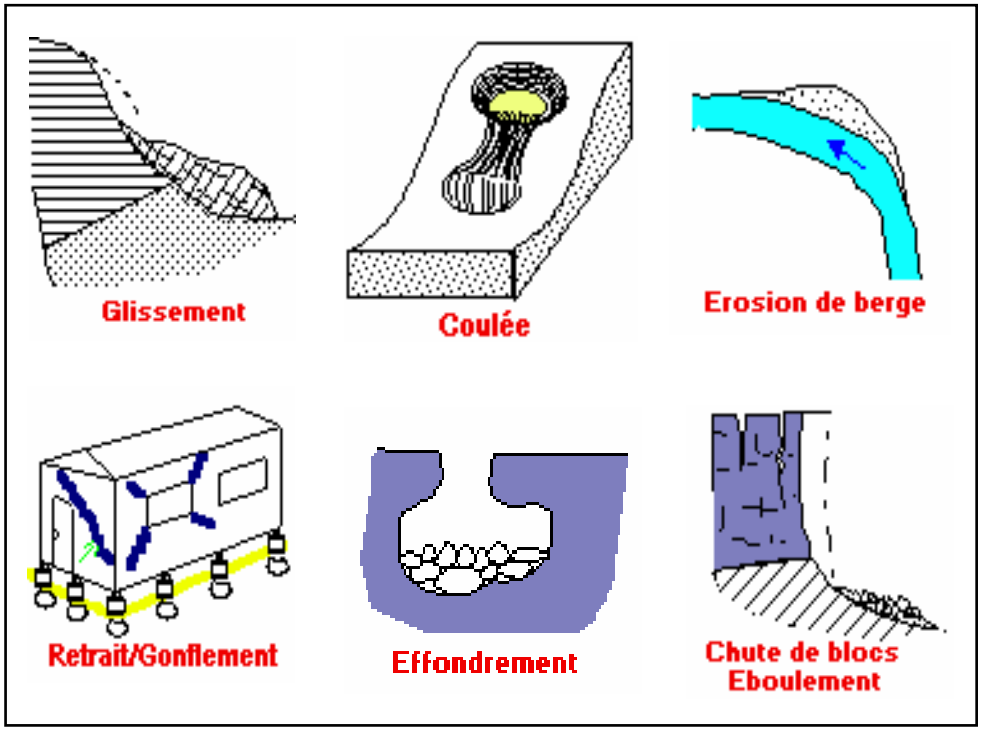


illustration 1 - Les mouvements de terrain

Les phénomènes de retrait-gonflement étaient quasiment inconnus en Alsace jusqu'à la sécheresse de l'année 2003. Aussi n'y a-t-il eu aucune demande d'intervention à ce sujet jusqu'en 2006.

Les phénomènes d'érosion de berges sont courants en Alsace mais ils sont traités au même titre que les inondations par les services des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt, et le BRGM n'est qu'exceptionnellement consulté à ce sujet.

La présente synthèse porte donc sur les 4 premiers types de phénomènes.

2. Les glissements de terrains

2.1. GENERALITES

Il s'agit de mouvements de masse rapide, vers le bas, d'une partie du matériel d'un versant. On peut distinguer plusieurs types de glissements :

- glissements plans, lorsque la surface de rupture est un joint de stratification, un plan de faille ou une surface de schistosité,
- glissements circulaires, qui concernent des formations homogènes, à dominante argileuse ou marneuse, et dont la surface de rupture est courbe (indices morphologiques : niche d'arrachement, fissures, bourrelets),

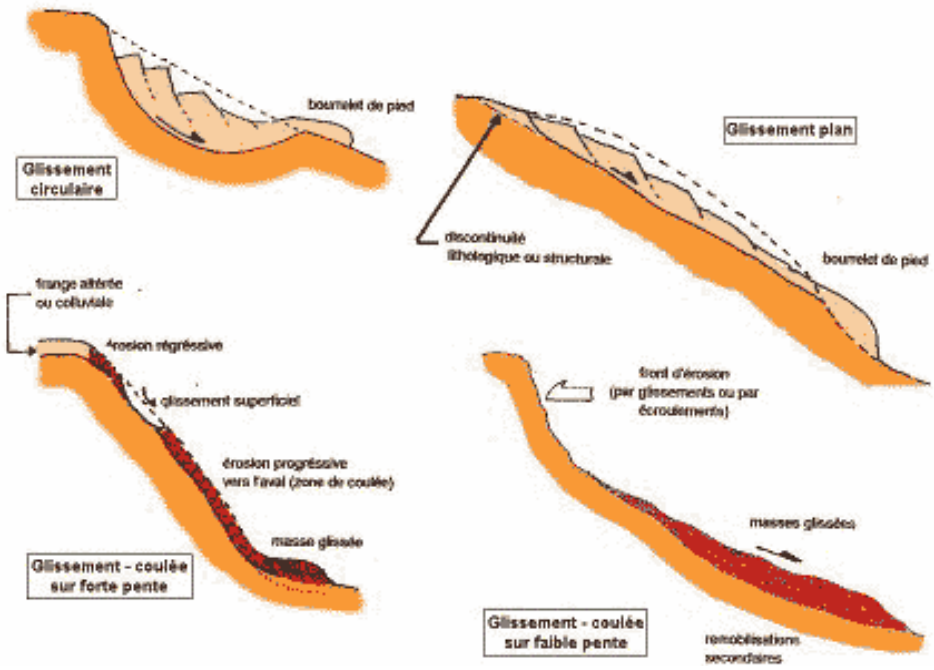


illustration 2 - Types de glissements de terrain (extrait du site www.bdmvt.net)

- glissements dit de solifluxion, en général moins rapides, où le mouvement est dû au fait que les terrains sont gorgés d'eau, et s'écoulent comme une masse boueuse à partir d'une niche de décollement ou de solifluxion,
- d'autres types de glissements existent, comme les paquets glissés ou les glissements avec liquéfaction, mais ils apparaissent dans des cas bien précis.

Les glissement de terrains en Alsace concernent, sur la période considérée, les communes de Wissembourg, Wangenbourg et Kienheim pour le Bas-Rhin et celles de Ueberstrass, Soulzmatt et Zellenberg pour le Haut-Rhin.

Le glissement de terrain de Ueberstrass a été à l'origine de la prescription d'un PPR (Plan de Prévention des Risques naturels) couvrant les vallées de la Largue et du Traubach (Elsass, 2000b ; Maurin et Messin, 2000).

Le mouvement de terrain à Zellenberg est traité en grand détail dans un rapport BRGM (Audru et Messin, 2000) et n'est pas repris ici. Ce dernier événement a également donné lieu à une procédure de PPR (Plan de Prévention des Risques naturels) couvrant la région de Ribeauvillé, dont on pourra consulter les études (Audru *et al.* 2002 ; Moiriat et Kramers, 2002).

2.2. MOUVEMENTS DE TERRAIN A KIENHEIM (67) EN 1998

Référence : Michel Messin (1998)

2.2.1. Introduction

Depuis plus de dix ans, des mouvements de terrain affectent la colline sur laquelle est construit le lotissement du Hüneberg. Des études, expertises et travaux ont été engagés depuis les premières manifestations des désordres sans qu'une solution satisfaisante pour les riverains et pour la Commune, maître d'ouvrage de l'opération, ait été trouvée.

Au cours de l'été 1998, le Maire de la commune a sollicité l'appui des services de l'Etat (Protection civile et DRIRE) ainsi que le concours du BRGM pour " établir la matérialité et l'ampleur du phénomène ainsi que prévoir les éventuelles actions correctives à engager ".[1]

Il convenait donc à partir des informations disponibles d'établir un diagnostic et de définir des recommandations pour assurer la sécurité du site.

Un examen du site a été pratiqué le 28 octobre 1998 en compagnie de M. Exinger, Maire de Kienheim, les dossiers disponibles en mairie ont ensuite été consultés et des contacts avec différents intervenants ont été pris. On notera que les constructions de MM. Beckerich et Da Fies n'ont pas été observées dans le détail.

2.2.2. Situation juridique

On notera les principaux points suivants :

- il existe un contentieux principal entre M. Beckerich et la Commune de Kienheim associée au Service des Eaux et de l'Assainissement du Bas-Rhin (TGI référé civil du 14 mai 1992) ;
- le Tribunal de Grande Instance de Strasbourg a rendu une ordonnance de référé le 26 juin 1992 désignant M. Chatila en qualité d'Expert ;
- un jugement du TGI du 30 juin 1997 a désigné la Commune de Kienheim comme « seule responsable des désordes survenus sur la parcelle de M. Beckerich » et l'a condamnée à « réparer les désordres décrits dans le rapport de M. Chatila du 13 août 1993 » ;

[1] Courrier de M. le Maire de Kienheim du 07/07/98 à M. le Directeur de la Drire pour solliciter l'intervention du BRGM

- une requête aux fins d'expertise du 19 novembre 1997 a été déposée auprès de la Cour d'Appel afin de compléter l'expertise de M. Chatila notamment dans la description des désordres et dans la définition des travaux à mettre en oeuvre ;
- une ordonnance de la Cour d'Appel du 19 février 1998 a rejeté la demande d'expertise complémentaire de la Commune.

2.2.3. Documents et observations disponibles

Les documents et rapports qui ont pu être consultés sont les suivants :

- observations et courrier de M. Ménillet (effectués à titre personnel) du 6 mai 1988 à la Commune ;
- rapport de Fondasol établi à la demande de l'Entreprise Trabet, elle-même mandatée par la Commune, du 11 juillet 1988 ;
- rapport d'étude de M. Gauchez du 13 novembre 1992, pour le compte de la société Groupama ;
- rapport du LRPC[2] de Strasbourg (90-41S-292) du 14 janvier 1993, effectué à la demande de la Commune ;
- rapport d'expertise de M. Chatila du 13 août 1993 dans le cadre de l'ordonnance du 25 juin 1992 du TGI de Strasbourg ;
- rapport d'expertise de M. Coulombel, Agréé en Architecture, du 27 avril 1998 pour le compte de la Commune de Kienheim.

On notera que ne figurent pas au dossier le rapport de M. Mischler, Expert de l'Assureur de M. Beckerich, déposé le 11 octobre 1990, et que tous les dossiers techniques relatifs aux travaux de terrassement ou aux prescriptions techniques n'ont pu être retrouvés ou consultés.

D'une façon générale, on se référera à ces documents ou à leurs auteurs en ne reprenant que les informations essentielles, ils sont disponibles et ont été consultés par la majorité des intervenants.

2.2.4. Rappel des événements

Historique de la construction du lotissement

Les principales étapes de la construction du lotissement sont les suivantes :

- l'autorisation de construire 94 lots est délivrée le 17 novembre 1975 ;
- les études de faisabilité sont confiées à un groupement comprenant un bureau d'étude, SERUE [3], et un paysagiste, J. C. Saint-Maurice ;

[2] Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées

- la mission d'aménagement est contractée par un groupement SERUE, J. C. Maurice et Martineau - Vogel architectes (mandataire SERUE) ;
- la première tranche des travaux de voirie a été réalisée en 1976, sur la base d'une étude de SERUE ;
- les premières maisons ont été construites en 1978 ;
- la maîtrise d'ouvrage de la desserte en eau est assurée par le Syndicat des Eaux du Kochersberg sous la maîtrise d'oeuvre de la Société des Eaux de l'Assainissement du Bas-Rhin ;
- M. Beckerich a pris possession de sa maison en 1979.

Historique des désordres

Dans tous les rapports analysés, de nombreuses références sont faites à des désordres qui ne sont pas nécessairement décrits de façon précise, les principaux événements qui peuvent cependant en être tirés sont les suivants :

- des ruptures de canalisation d'eau se sont produites en 1985, elles ont été suivies par différents mouvements dans la propriété de M. Beckerich (rapport M. Chatila) ;
- en 1986, des mouvements de terrain apparaissent au droit du jardin (aire de sport) de la rue Hüneberg ;
- le 28 (ou le 27) octobre 1987, une rupture de conduite (branchement particulier de M. Da Fies) se produit au droit du n° 35 de la rue Hüneberg et entraîne des désordres chez M. Beckerich ;
- en janvier 1988, le remblai du jardin glisse en amont de la propriété de M. Beckerich ;
- dans le courant de l'année 1988, la chaussée de la rue Hüneberg est refaite mais elle est aussitôt détruite ;
- en mars 1989, il est établi contradictoirement que des " ruissellements souterrains ", ravinent la propriété de M. Beckerich ;
- le 3 mai 1989 se produit une nouvelle rupture de canalisation sous la voie publique ;
- en mai 1989, de nouveaux glissements apparaissent notamment au droit de l'entrée de garage de la propriété de M. Beckerich (probablement consécutifs aux ruptures de canalisation) ;
- en 1991, de nouvelles fissures de tension atteignent la rue et les propriétés de MM. Da Fies et Beckerich ;
- le 22 octobre 1992, ces fissures sont encore particulièrement visibles et paraissent actives ;

[3] Société Régionale d'Urbanisation et d'Equipement

- des photographies de mai 1993 montrent sans ambiguïté des déformations dans le vide sanitaire de la construction de M. Da Fies ;
- des ruptures de canalisation ou de réseau ont été notées, notamment le 17 septembre 1992 et le 23 juin 1993 (rapport M. Chatila).

Travaux exécutés ou proposés

Il est important de noter ici tous les travaux ou propositions de travaux qui ont été exécutés ou recommandés. En revanche comme pour les désordres, peu d'informations précises sont disponibles, il n'existe pas de dossiers de travaux consultables où l'on pourrait trouver projets et plans d'exécution. On retiendra les points suivants :

- la réfection de la chaussée est entreprise en 1988 ;
- une solution de confortement est présentée en janvier 1989 par l'Entreprise Durmeyer, elle consiste à battre un rideau de tubes métalliques de 5 m de longueur au niveau du sondage S3 exécuté par Fondasol, c'est à dire à mi-pente par rapport au glissement ;
- le rapport établi en 1991 par le LRPC de Strasbourg préconise de réaliser un certain nombre de travaux qui sont recommandés à l'état de projet de définition :
  - vérification des réseaux ;
  - solution de drainage, elle préconise de réaliser des drains à 2 m de profondeur selon un plan établi par le LRPC ;
  - solution par clouage qui consiste à ancrer les formations superficielles à partir des terrains plus résistants au delà de 9 m de profondeur. Cette solution doit être accompagnée de drainage ;
  - reprise en sous-œuvre des maisons qui doit être accompagnée malgré tout d'une stabilisation de la pente.
- les solutions évoquées par l'Expert M. Chatila consistent à effectuer "un réseau de drains important... accompagné de mesures confortatives locales, tels que clouage par micropieux". Ces travaux nécessitent que préalablement "des études d'ampleur générale aient été réalisées" ;
- décembre 1996, mise en place d'un collecteur de diamètre 200 mm apparemment selon un schéma calqué sur les recommandations du LRPC ;
- réalisation en août 1997, d'une butée de pied en enrochement côté amont de la rue des Vignes, d'autres travaux auraient également été réalisés à cette époque sur le réseau d'eaux pluviales d'après la majorité des intervenants.

2.2.5. Analyse des phénomènes et des risques

Résultats des études antérieures

En reprenant les éléments des différents rapports examinés, les points notables qui se dégagent des études sont les suivants :

- la morphologie du site montre une zone concave pouvant correspondre à une zone d'érosion préférentielle liée notamment à une venue d'eau souterraine (observations M. Gauchez), la pente de 25 à 30 % est modeste malgré tout ;
- sur le site, les formations rencontrées (Lias) sont bien connues pour leur sensibilité aux mouvements de terrain, on devinait apparemment dans la morphologie des traces d'anciens mouvements de type fluage, à l'est du lotissement (observations M. Gauchez) ;
- la coupe géologique obtenue en sondage montre de un à trois mètres de formations superficielles meubles (remblais, lœss colluvionnés, marnes altérées plus ou moins solifluées) et ensuite des marnes plus compactes saines ;
- la coupe géotechnique relevée à partir des reconnaissances du LRPC et de Fondasol confirme la présence d'un sol de caractéristiques médiocres sur les trois premiers mètres ($Qd<30.10^5$ Pa, pl # 400 kPa et E # 7 MPa) et ensuite une amélioration progressive de ces caractéristiques en profondeur. Dans la partie inférieure du site, là où la nappe est plus superficielle, les caractéristiques sont encore plus basses ;
- les relevés piézométriques du LRPC montrent que la nappe se trouve périodiquement à moins de 1 m de profondeur, en 1988, des venues d'eau sont visibles en pied de pente, témoignant de l'existence de circulations épidermiques ;
- on note que les remblais sont constitués de sols de caractéristiques médiocres (pl # 300 kPa, E # 4 MPa), sensibles aux variations hydriques, ceci est visible dans les coupes de sondage où l'on parle même de sables vasards, mais également dans les observations de surface qui montrent des fissures de retrait importantes en période sèche (rapport Fondasol) ;
- au moment de la construction, les secteurs actuellement en mouvement ont fait l'objet de chargements car ils constituaient les zones de dépôt des stocks de terre végétale (observations M. Gauchez) ;
- la rue Hüneberg a quant à elle apparemment été réalisée sur la base d'un profil type en remblai. Les canalisations d'eau potable se situaient dans la partie aval de la route, où la hauteur de remblai est la plus importante. La rue des Vignes, au bas de la pente, aurait quant à elle été construite en déblais, ce qui constitue une suppression de butée, préjudiciable à l'équilibre des formations dans la pente ;
- les désordres qui sont apparus confirment la morphologie d'un glissement, les fissures de tension de tête se trouvent à l'amont des maisons Beckerich et Da Fies. Le glissement possède une centaine de mètres de large et l'on note un bourrelet de pied de hauteur métrique en 1992. L'interprétation des sondages réalisés au droit

du jardin tend à montrer que la surface de rupture se trouve à cet endroit vers 3 mètres de profondeur (d'après le rapport de M. Gauchez) ;

- d'après les schémas de MM. Ménillet et Gauchez, les maisons des n° 35, 37, 39 et 45 ont été touchées par le mouvement, une "grande partie des terrains entre la rue Hüneberg et la rue des Vignes ... paraît avoir été mobilisée. Le mouvement semble avoir été le plus actif de 1988 à 1992". L'interprétation photogéologique de M. Gauchez des clichés de 1988 confirme bien que les maison Da Fies (n° 37) et Beckerich (n° 35) sont concernées par le glissement, l'axe du glissement se situant plus probablement à l'est de l'habitation de M. Da Fies ;
- d'après l'Expert M. Chatila, les désordres ne sont pas limités à la propriété de M. Beckerich mais ils s'étendent à "l'ensemble de la colline du Hüneberg" ;
- d'après les indications de l'Expert, M. Gauchez, une inspection du réseau aurait montré en décembre 1991 des branchements défectueux ;
- les structures des deux bâtiments Da Fies et Beckerich ne sont apparemment pas touchées en dehors du vide sanitaire pour la propriété Da Fies et des entrées de garage pour les deux maisons Da Fies et Beckerich ;
- les désordres de la terrasse aval de la propriété Beckerich observés en 1988 sont notés (rapport Fondasol) sans ambiguïté comme des instabilités de remblai, un pilier a notamment été cisaillé ;
- pour le reste du lotissement des désordres significatifs sont notés par l'Expert M. Gauchez, il s'agit pour l'essentiel de non adaptation des ouvrages de fondation aux sols rencontrés et non de glissements proprement dit :
  - sur la parcelle n° 12 ;
  - impasse des Acacias, dans les propriétés de MM. Petrazoller, Kentzinger, Baldini ;
  - impasse des Prés, villa de la parcelle 14, de la parcelle 5, du n° 9 ;
  - dans la partie haute du lotissement, parcelle 67, parcelle 65, parcelle 56 et parcelle 57 ;
  - dans la partie aval, au n° 45.

Origine des désordres

- pour l'Expert M. Chatila l'origine des désordres est à rechercher dans "la transformation du milieu naturel" alors que la colline a été "remaniée en surface avec apport de remblais divers pour réaliser les différentes voiries et parcelles" ;
- pour l'Expert Groupama, M. Gauchez, "...ces remblais (mis en place lors des travaux de VRD et lors de la construction des trois villas, n° 33, 35 et 37) n'ont peut-être pas été exécutés selon les règles de l'art. Ce mouvement a pour origine cette surcharge exercée dans la partie supérieure ainsi qu'une suppression de la butée liée à des terrassements à mi-pente au niveau de la rue des Vignes" ;
- pour Fondasol, la "pente originelle était élevée" et "il est probable qu'il était déjà (le versant) à la limite de la stabilité". Par ailleurs les "remblais terreux...glissent car...leur épaisseur est importante et l'on ne s'est certainement pas donné la peine

de creuser des redans dans le TN pour qu'il y ait un bon contact entre remblais et argile...il y a certainement des circulations d'eau très importantes en période pluvieuse...à la base des remblais ce qui favorise les glissements". Toujours pour Fondasol, "il y a un risque de glissement profond dans l'argile surchargée par les remblais. Ce glissement serait beaucoup plus grave que les glissements actuels..." ;

- l'Expert M. Chatila souligne d'une part l'importance du phénomène et des risques qui peuvent résulter d'une remobilisation des terrains, d'autre part le fait que les différents intervenants ne sont pas "conscients qu'un sinistre de grande ampleur peut survenir après une période particulièrement pluvieuse".

Indéterminations ou éléments non connus

Dans l'analyse des documents disponibles on soulignera les lacunes ou les manques correspondants à des informations essentielles pour formuler un avis sur l'origine, l'évolution ou le traitement des mouvements. Ainsi :

- on ne connaît pas avec précision la géométrie des mouvements de terre (déblais/remblais) qui ont été mis en oeuvre au cours de la construction, ni les conditions d'exécution des terrassements ;
- aucune analyse géotechnique d'ensemble préalable à la construction n'a permis de définir la géométrie et les caractéristiques des sols ;
- aucune analyse de la stabilité de la pente dans sa configuration naturelle et ensuite sous l'effet des terrassements divers n'est disponible ;
- aucun dossier de travaux n'a pu être consulté, notamment sur ce qui a été réalisé en décembre 1996 (collecteur diamètre 200 mm).

2.2.6. Diagnostic actuel

Caractéristiques géologiques et géotechniques du site

Elles sont mal connues, seules des comparaisons de clichés aériens ont pu être faites et aucune donnée de base provenant du site n'est disponible. On peut cependant comme le montrent les Experts qui sont intervenus, indiquer que les terrains sont bien connus pour leur instabilité naturelle. Il semble par ailleurs qu'à l'emplacement même des déformations les plus importantes, une érosion particulière se soit manifestée, peut être sous l'effet d'une venue d'eau, comme c'est souvent le cas. La pente est relativement modeste, d'une dizaine de degrés environ.

Les caractéristiques géotechniques ont été mesurées au droit du glissement. Les différents types d'essai (pénétromètre et pressiomètre) exécutés confirment bien les observations des sondages (tarière à main).

On trouve depuis le haut :

- des remblais parfois de très mauvaise qualité (qualifiés de vasards) sur des hauteurs pouvant atteindre 3 m ;
- des formations superficielles altérées, remaniées, limono-argileuses aux caractéristiques géomécaniques également très médiocres sur une épaisseur de 3 m également ;
- des marnes de plus en plus saines et résistantes en profondeur.

Le niveau de l'eau dans la pente peut se trouver très proche de la surface du sol, les mesures le montrent, il s'agit là de niveaux d'eau qui s'établissent en fonction des alimentations naturelles souterraines provenant de l'amont, de la géométrie et de la perméabilité des couches.

Caractéristiques des désordres

Les désordres observés prennent diverses formes, mais il est incontestable qu'un glissement d'envergure est apparu en 1985/1986, il a été traité partiellement puis s'est remobilisé selon une dynamique ponctuée par des ruptures de conduites. Il s'étend, de l'avis de tous, sur 100 mètres de large environ entre la rue Hüneberg et la rue des Vignes, englobe les habitations de MM. Beckerich et Da Fies et le terrain de jeux.

La profondeur de la surface de rupture est probablement faible. En effet, seules les structures superficielles (chaussées, remblais extérieurs, conduites...) ont été affectées par les mouvements. Les poussées des horizons superficiels (et plus probablement des seuls remblais) n'ont pas été suffisantes pour déformer les structures assez monolithiques des constructions et surtout de leur fondations assises dans les formations marneuses plus saines. On notera par ailleurs que les deux constructions concernées ne se trouvent pas dans l'axe du glissement (là où les hauteurs de remblai sont les plus importantes) et que les épaisseurs glissées sont moins importantes en bordure du glissement.

D'autres désordres sont visibles, en dehors de l'enveloppe même du glissement, il s'agit de fissurations dans la chaussée, dans les ouvrages attenant aux bâtiments, ils ont en particulier été repérés par l'Expert M. Gauchez en 1992.

Des désordres ont également été signalés chez Mme Plocoste et chez M. Schmitt. Ils n'ont été ni observés ni mentionnés par les experts, ils semblent toutefois correspondre à des déformations résultant du glissement.

Origine des désordres

Il y a convergence dans les analyses des différents experts quant à l'origine des désordres. Les différents facteurs à l'origine des mouvements sont les suivants :

- existence de conditions naturelles peu favorables, avec des terrains aux caractéristiques médiocres dans lesquels on observe des circulations d'eau à faible profondeur, avec des pressions interstitielles probablement élevées dans certaines

périodes, sur une pente probablement proche de son profil d'équilibre (où les valeurs des coefficients de sécurité ne sont pas surabondants) ;

- modification de cet équilibre et transferts de masses défavorables avec d'une part apport de surcharges (remblais) dans la pente sur une formation très peu résistante et suppression d'une butée de pied (déblais) par ouverture de déblais ;
- utilisation d'un matériau de remblai de mauvaise qualité soumis à retrait-gonflement (alimentation des fissures par les ruissellements en phase de retrait) ;
- probablement (sous réserve d'un examen des documents relatifs aux travaux de terrassement) mauvaise exécution de ces terrassements (prise en compte des caractéristiques des sols de remblai, décapage de la terre végétale, décapage des parties sensibles et altérées des formations superficielles, drainage au droit des alimentations naturelles, au contact des horizons altérés et des formations saines, exécution de redans...).

On notera que ces terrassements ont apparemment été réalisés aussi bien pour les travaux de VRD que pour la construction des plates-formes individuelles des habitations. En particulier, là où les désordres sont les plus importants, les voies et plates-formes sont en remblai, sans que l'on en connaisse les épaisseurs et les extensions.

Il s'agit là des facteurs essentiels qui ont conduit à l'apparition de ces phénomènes de glissement, ensuite d'autres mouvements ont été réactivés ou accentués à la faveur de ruptures de conduites. Comme c'est habituellement le cas dans ce type de situation, on peut se demander quel rôle ont joué les conduites. Ont-elles joué le rôle de drain et alimenté les terrains à certains endroits, créant des surcharges hydrauliques et générant les premiers mouvements ? Ont-elles été détruites lorsque les premiers mouvements de faible ampleur sont apparus, alimentant et accentuant ensuite le glissement ?

Ces interrogations se posent notamment dans le cas de la propriété de M. Beckerich. On peut imaginer que les remblais qui ont été mis en place aussi bien en bordure de voirie qu'au droit de la plate-forme étaient de mauvaise qualité, et que leur exécution n'a pas été suffisamment soignée. Il convient cependant d'admettre que les premiers désordres dans la propriété sont apparus lorsque la conduite d'eau située à l'amont de la maison a subi des dommages peut-être provoqués eux-mêmes par la mauvaise tenue des remblais... C'est une situation souvent observée lorsque les conditions naturelles, les caractéristiques des matériaux et l'exécution ne sont pas satisfaisantes.

Menaces et évolution prévisible

En l'absence de repères objectifs on ne peut véritablement apprécier l'évolution du phénomène depuis que les derniers travaux ont été réalisés. Aujourd'hui cependant, on peut observer, notamment dans la chaussée, des fissures, de légères ondulations qui montrent que des mouvements se produisent encore. Les observations sont plus délicates dans les jardins et dans les maisons. Par ailleurs, aucune information montrant que les structures sont affectées n'a été signalée au cours de cette mission.

Le comportement de tels glissements est très étroitement lié aux développement de pressions interstitielles. Le facteur déclenchant est précisément l'eau qui peut apparaître soit à la faveur d'un événement pluviométrique exceptionnel (succession de saisons anormalement pluvieuses et pas nécessairement averses importantes), soit à la faveur d'une fuite de réseau indécelable avant rupture.

Le constat (fondé une fois de plus sur des éléments disponibles peu consistants) tend ici à montrer que les conditions hydrodynamiques habituelles du versant génèrent des comportements de fluage (déformations lentes sous contraintes constantes, perceptibles dans les chaussées) alors que l'équilibre est probablement tout juste assuré (coefficient de sécurité proche de 1).

Une surpression légère peut déclencher à nouveau un mouvement plus important et la probabilité pour qu'un événement pluviométrique "légèrement supérieur à la normale" ou qu'une fuite apparaisse est tout de même assez élevée. Les divers événements qui se sont produits depuis la construction du lotissement tendent à le confirmer.

L'équilibre ne paraît pas suffisamment assuré pour que l'on considère que le mouvement est stabilisé à terme et que les terrains sont susceptibles de supporter des sollicitations notables (surcharges hydrauliques) occasionnelles.

Il n'est pas étayé de dire qu'"aucun glissement n'est à prévoir", aucune justification n'est apportée et ceci est vraisemblablement faux, notamment au vu des observations actuelles.

Cette analyse doit par ailleurs être conduite en tenant compte de la vulnérabilité des constructions qui sont des habitations principales, déjà sollicitées depuis plus de dix ans.

On remarquera que lorsque l'on assimile (comme il l'est indiqué dans certains documents) les désordres qui affectent la maison Beckerich à ceux qui affectent toute la colline du Hüneberg, il convient d'être nuancé. Sur une partie du lotissement ce sont bien les remblais qui ont été mobilisés, des phénomènes identiques à ceux qui affectent la propriété Beckerich sont effectivement rencontrés dans l'enveloppe du glissement, dans la chaussée de la rue Hüneberg, côté amont de la rue des Vignes, dans le vide sanitaire de la maison de M. Da Fies. En revanche, cela ne signifie pas que les terrains de l'ensemble de la colline soient mobilisés en profondeur par un glissement de terrain. Si c'était le cas, des désordres beaucoup plus graves seraient enregistrés dans les autres bâtiments du lotissement.

On notera malgré tout que les désordres jusqu'à maintenant sont circonscrits à une enveloppe mais qu'en revanche une évolution notable de l'extension n'est pas exclue, surtout si à la faveur de transferts de masses dans les remblais, les formations superficielles et les terrains en place étaient affectés par le mouvement.

2.2.7. Conclusions et recommandations

On ne peut contester que des glissements de terrain se sont produits sur le site. Plusieurs spécialistes l'ont observé, les descriptions sont sans ambiguïté.

Aujourd'hui, on connaît mal les caractéristiques géométriques, géomécaniques, la dynamique des comportements, les réactions aux différents facteurs déclenchants du glissement. En revanche, on cerne assez bien son extension en surface et il est fort probable que seuls les remblais sont concernés, avec peut-être, comme c'est le cas habituellement dans de telles situations, la partie supérieure des formations superficielles.

L'origine des mouvements est également assez bien appréhendée par l'ensemble des spécialistes qui sont intervenus. On retiendra : les conditions naturelles défavorables, une modification de l'équilibre des masses par apport de remblais et suppression de butée, une exécution probablement sans soins ne tenant pas compte des conditions particulières du site et ensuite une interaction complexe entre évolution des remblais et alimentations en eau parasites liées à des ruptures de canalisation.

Il est difficile de dire aujourd'hui si les travaux engagés par la Commune sont suffisants. Les actions entreprises vont sans ambiguïté dans le sens de la stabilisation. Cependant, les travaux ont été exécutés de façon partielle sur la base des indications du rapport du LRPC, sans véritable projet établi par un spécialiste, sans justification par le calcul et sans contrôle de leur efficacité.

A priori, au vu de l'ampleur et des caractéristiques des mouvements, du déficit de sécurité qui paraît affecter les glissements, on peut penser que les mesures prises sont insuffisantes pour assurer un équilibre satisfaisant à terme, notamment lorsque des pressions interstitielles importantes vont se développer (épisodes pluvieux).

Ce constat implique bien entendu que l'on devra pour éviter tout nouveau désordre mettre en oeuvre des actions complémentaires. Aujourd'hui, les mouvements s'apparentent plutôt à ce qui est appelé du fluage ou à du glissement résiduel avec des déformations lentes qui ne menacent pas la sécurité des personnes. En revanche, un accroissement rapide des pressions interstitielles peut toujours être redouté soit sous l'action des circulations naturelles, soit à la suite de ruptures de conduites. Dans ce cas, il peut y avoir remobilisation rapide et extension du glissement.

Pour assurer maintenant la sécurité des biens et personnes de façon durable, il est recommandé d'engager :

- une mission d'étude et d'analyse qui permettrait de définir les conditions géométriques et géomécaniques actuelles, les circonstances dans lesquelles les désordres sont apparus (charges, pluviosité), d'apprécier l'équilibre des pentes, de comparer la stabilité à l'état naturel et la stabilité sous l'effet des différents aménagements, de pratiquer une rétroanalyse des phénomènes qui se sont produits pour définir les mécanismes qui ont permis le déclenchement et enfin de simuler l'action de travaux destinés à assurer l'équilibre pérenne des pentes ;

- le contenu de ces missions sera fondé sur des travaux d'enquête, de topographie (comparaison des plans avant et après travaux, avant et après glissements), de reconnaissance de sols (tarières et pénétromètres statiques, essais de laboratoire), d'analyse de la stabilité (calcul des coefficients de sécurité pour diverses configurations, avant et après surcharge aussi bien sur la voirie que sur les plates-formes) et de définition de travaux (prédimensionnement et simulation des effets sur la stabilité).
- il s'agirait là d'une mission d'avant-projet ou de projet de bureau d'étude et non d'expertise. Jusqu'à maintenant les spécialistes qui se sont exprimés ont cerné les points essentiels de la situation, en revanche, ils ont été démunis par manque d'éléments techniques plus précis tels que ceux qui sont évoqués plus haut. C'est en particulier sur ce type d'action que l'on pourra formuler un avis plus pertinent sur les origines des mouvements, sur la distinction qu'il convient de faire entre travaux relevant de la Collectivité et des particuliers ;
- un suivi topographique, piézométrique et surtout inclinométrique (permettant de mesurer les déformations dans le sol en profondeur au niveau de la surface de rupture), relié aux conditions météorologiques (pluviosité, température) ;
- enfin de mettre en application les résultats des études par des travaux adaptés, projetés et suivis par des spécialistes des mouvements de terrain.

Les dispositions qui seront prises seront surtout orientées vers la création d'un réseau de drainage efficace et pérenne, avec blocage éventuel et substitution de certains remblais.

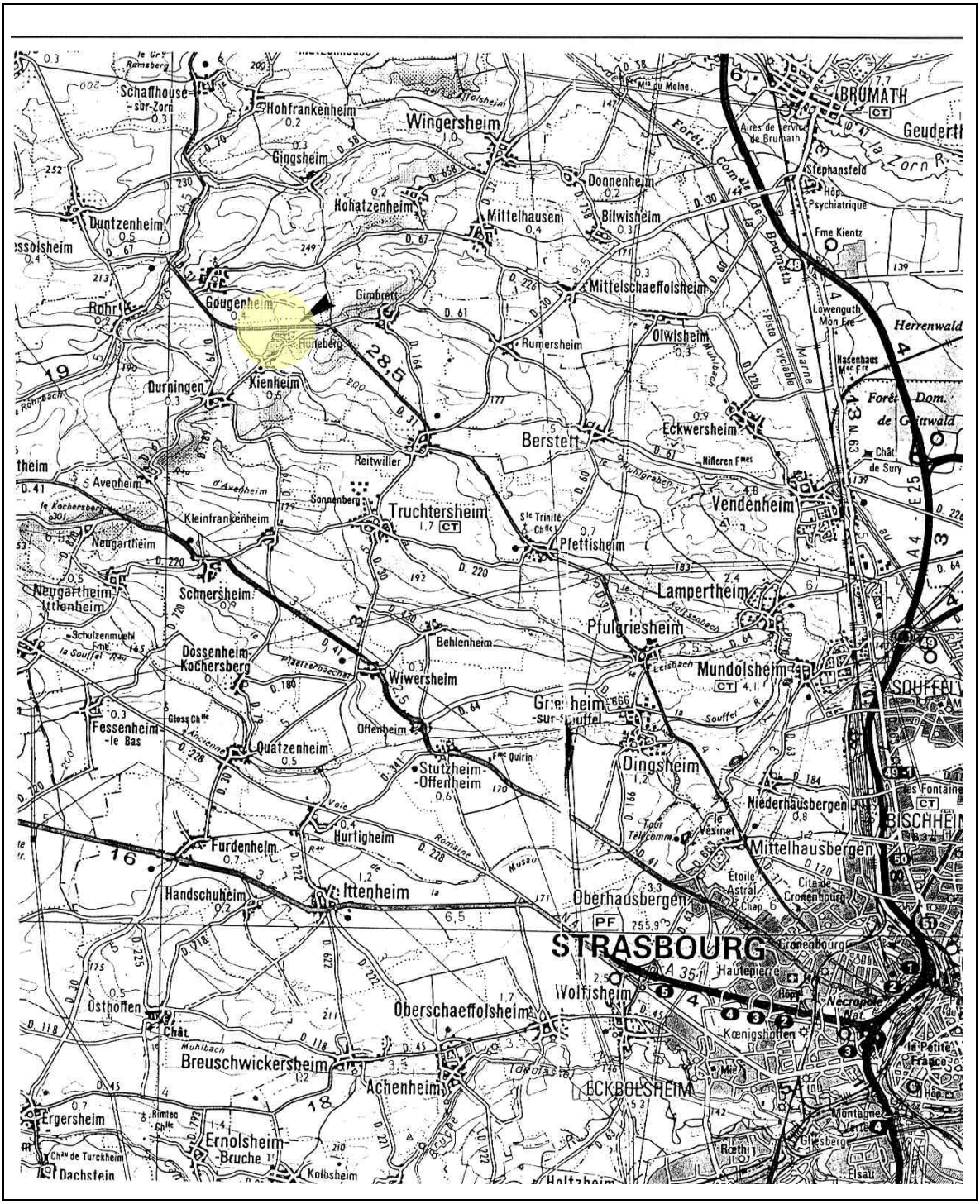


illustration 3 - Situation du lotissement du Hüneberg à Kienteim

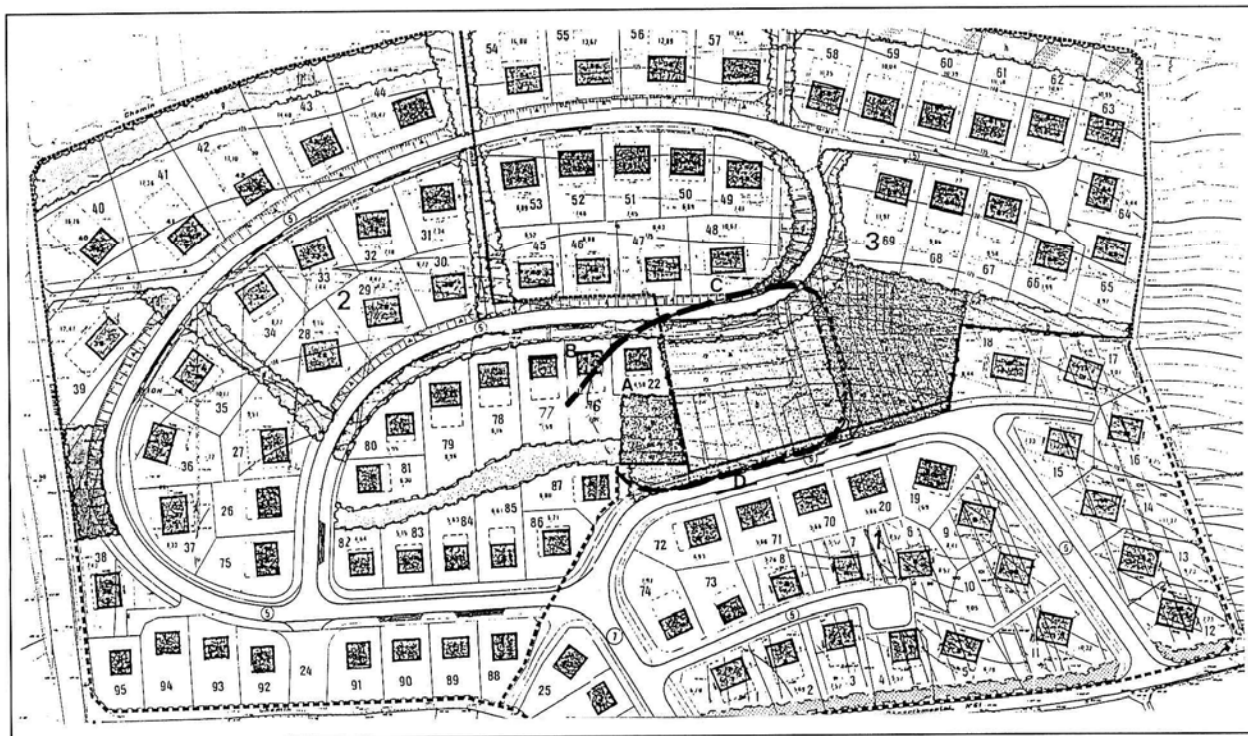


illustration 4 - Situation du glissement dans le lotissement (Echelle approx. 1/2000) - A : maison Da Fies, B : maison Beckerich, C : lèvre supérieure du glissement rue Hüneberg, D : bourrelet de pied, rue des Vignes

2.3. MOUVEMENTS DE TERRAIN A UEBERSTRASS (68) EN 1999

Références : Murielle Chabart et Michel Messin (1999a) ; Materne Daesslé (1998c).

2.3.1. Introduction

A la demande des autorités préfectorales du département du Haut-Rhin (Service Interministériel de Défense et de Protection Civile) et de la sous-préfecture d'Altkirch, le BRGM a effectué une mission de diagnostic à Ueberstrass.

Plusieurs visites ont été effectuées sur les sites concernés à Ueberstrass par Mme Chabart du BRGM :

- le 14 avril 1999 en présence de M. Triolet Marcel, Mme Durliat Marie-Thérèse et Mme Eichinger Marie-Paule, sa fille ;
- le 19 avril 1999 en présence M. Herment, Secrétaire général de la sous-préfecture d'Altkirch ;
- le 21 avril 1999 en présence de M. Ley, Maire d'Ueberstrass et de l'adjoint au Maire, M. Wininger ;
- le 26 avril 1999 en compagnie de M. Messin Michel, département risques du BRGM.

Réalisée dans le cadre de sa mission de Service Public d'appui aux administrations (fiche 99A101) l'intervention avait pour objet :

- de dresser un constat de la situation sur les deux sites concernés : propriétés de M. Triolet et de Mme Durliat,
- de formuler un diagnostic sur les mouvements de terrain et les phénomènes d'érosion intense observés sur le territoire de la commune d'Ueberstrass,
- de définir des recommandations notamment les traitements à mettre en œuvre afin d'assurer la sécurité des biens et des personnes.

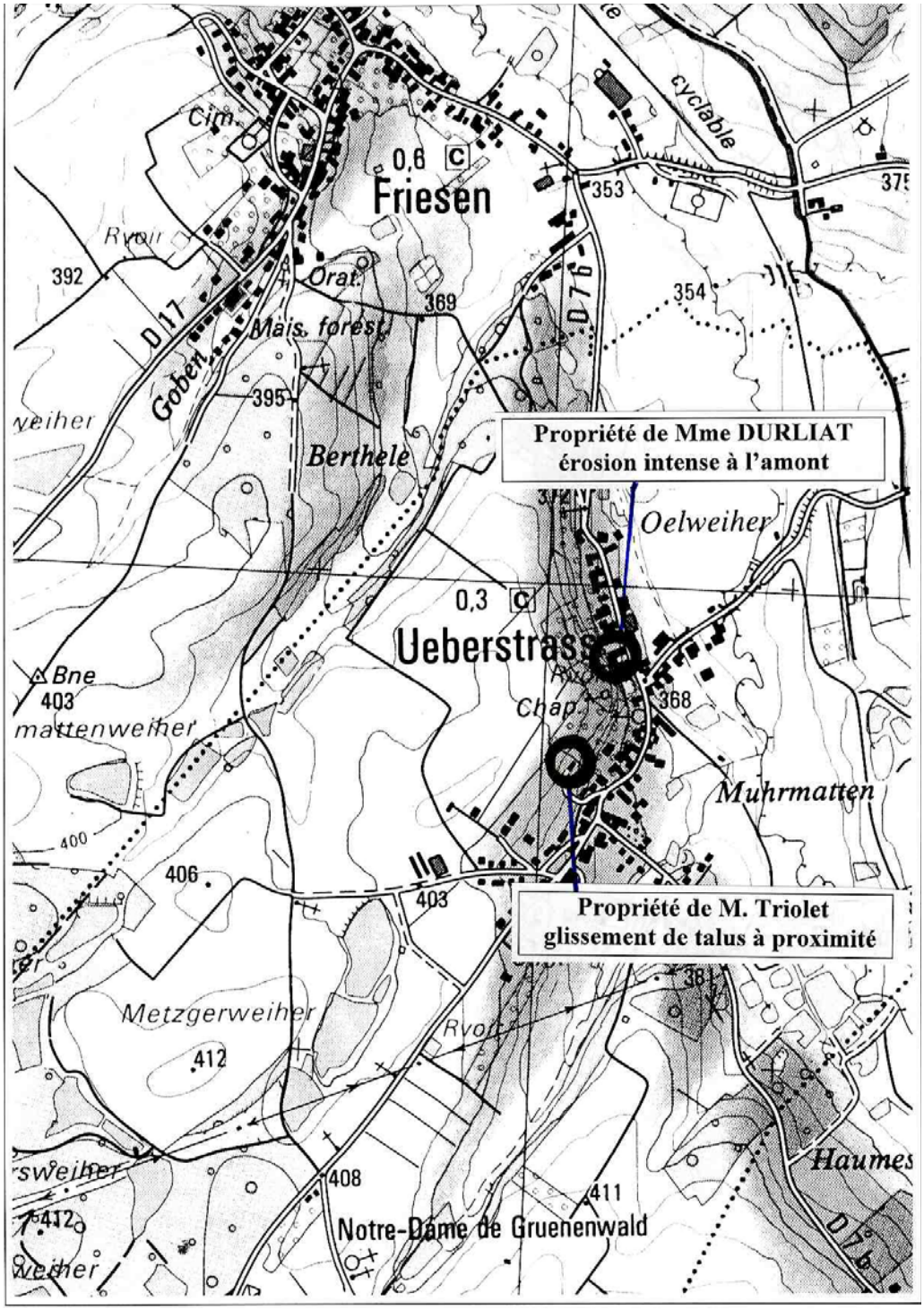


illustration 5 - Plan de localisation des sites étudiés au 1/12 500

2.3.2. Situation générale

Ueberstrass se situe dans le Sundgau occidental (Haut-Rhin), à 12 km au Sud-Ouest d'Altkirch (illustration 5).

Géologie

Le village s'étend selon une direction Nord-Sud dans la vallée de la Largue au pied d'un plateau à soubassement de **marnes oligocènes** recouvert d'**alluvions anciennes** grossières, elles-mêmes surmontées d'un épais manteau de **lœss** (illustration 6 et illustration 7). Sur les versants de ces plateaux, entaillés par un réseau assez dense de vallées et vallons, les zones sourceuses, au contact marnes-alluvions, et les affleurements de marnes en contre-bas, présentent fréquemment des instabilités superficielles.

Dans le secteur d'Ueberstrass, plusieurs mouvements d'époque historique à actuelle sont signalés dans la littérature (Note BRGM ALS98N18) :

- Altkirch (vers 1970), Roggenberg ;
- Hirtzbach (1982), Sud-Est de la localité, formations de versant sur marnes oligocènes ;
- Hirtzbach (1891), Illberg, glissement de 3000 m³ (alluvions anciennes sur marnes oligocènes) ;
- Ueberstrass (1998), glissement de talus (formation de versant sur alluvions anciennes) ;
- Seppois-le-Bas (1910).

Hydrogéologie

Les dépôts alluvionnaires, éoliens ou fluviatiles, se trouvant sur les pentes et flancs des vallées, sont aquifères lorsque leur granulométrie permet l'emmagasinement et la circulation des eaux. Lorsqu'ils sont argileux et quand la masse d'eau emmagasinée ne peut se libérer, on assiste à des phénomènes de gonflement et de glissement des sols liés aux variations hydriques auxquels s'ajoute l'action du gel et du dégel.

Dans le Sundgau, les principaux niveaux aquifères se trouvent à la base des formations alluviales plio-quaternaires (**Cailloutis du Sundgau**) et au-dessus des marnes oligocènes. Il convient de mentionner la présence de plusieurs sources à Ueberstrass, utilisées notamment pour l'alimentation en eau potable. Elles émergent à la base des cailloutis du Sundgau sur le flanc Ouest de la vallée, en pied de talus :

- la source AEP centre, (indice national 444-8X-0049) ;
- la source à la hauteur de l'église d'Ueberstrass ;

- plus au Nord, le long de la Grand'rue, deux fontaines devant la maison de M. Leseur (444-8X-0107 à 50 m de l'école) et celle de M. Bihl (444-8X-0108 à 30 m de la précédente).

Une estimation de la superficie du bassin versant de la source AEP centre a été effectuée dans le cadre d'un projet de mise en place d'un périmètre de protection. Le bassin d'alimentation pluviométrique correspond à tout le plateau s'étendant à l'Ouest et au Sud-Ouest du village, de la vallée de la Largue à la forêt d'Oberwald. Le plateau est limité au Sud et au Nord par les thalwegs de notre Dame de Gruenenwald et de Berthele où jaillissent les sources de Friesen. Pour un débit moyen de la source de 10 l/s (mesure du trop plein à la fontaine hors pompage), une pluviométrie moyenne de 950 mm/an dont 45% de pluie efficace, la superficie est estimée à 70 hectares.

Situation des propriétés de M. Triolet et de Mme Durliat

La propriété de M. Triolet se situe en partie sur le talus constituant la bordure Ouest de la vallée de la Largue (chemin d'accès à la maison et jardin) et en partie au sommet du plateau (maison). Le glissement de talus se situe en tête du talus (à la base de la rupture de pente sommitale) et sur une parcelle contiguë à sa propriété (en position latérale).

La propriété de Mme Durliat se situe en pied de talus comme la plupart des maisons du village, à proximité d'un fossé qui draine une partie des eaux de ruissellement en provenance du plateau et du talus situé en amont.

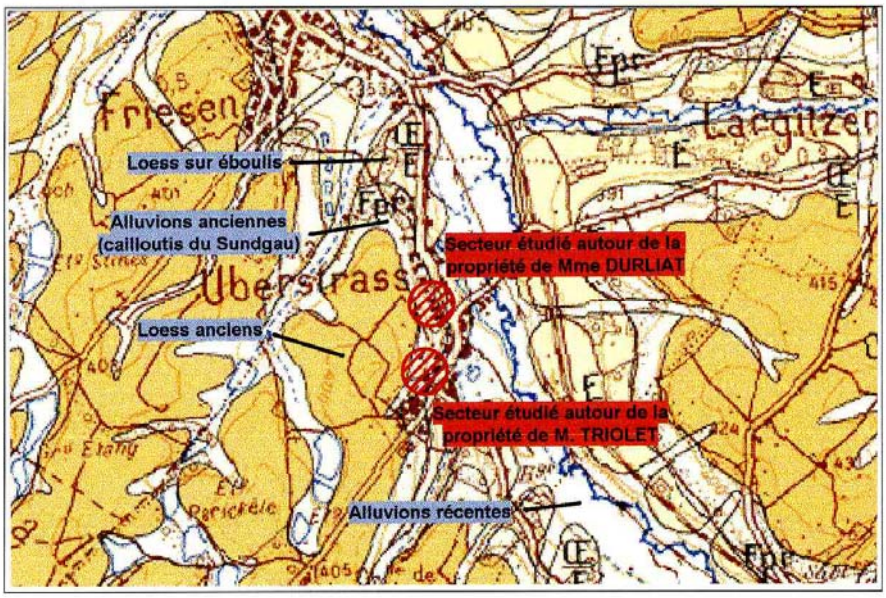


illustration 6 - Extrait de la carte géologique au 1/50 000 de Belfort (444)

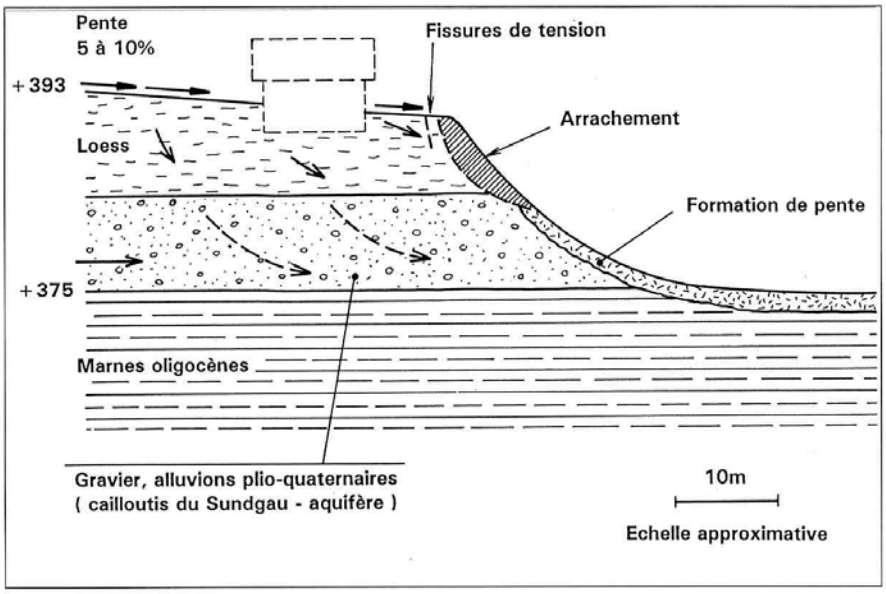


illustration 7 - Coupe schématique du flanc Ouest de la vallée de la Largue

2.3.3. Glissement de talus à proximité de la propriété de M. Triolet

Localisation

Le glissement de talus se situe en tête du talus, à la base de la rupture de pente sommitale, sur un terrain appartenant à M. Bihl Louis, rue Principale (section 14 parcelle 65). Ce terrain végétalisé (prairie) s'étend depuis le haut du talus jusqu'à la route en contre-bas (illustration 8).

Au-dessus du glissement (parcelles 32/31/30, propriété de Mme Merkt B.), la pente diminue progressivement sur toute l'aire du plateau. Un chemin d'exploitation (parcelle 27, propriété de l'association foncière), peu matérialisé, dessine une très légère dépression au Nord de la propriété de M. Triolet.

Au Nord de la parcelle 65 s'étend la parcelle 67 appartenant à M. Baldoni Manuel, rue Principale. Ce terrain végétalisé (prairie et arbres fruitiers) s'étend depuis le haut du talus jusqu'à la maison de M. Baldoni en contre-bas.

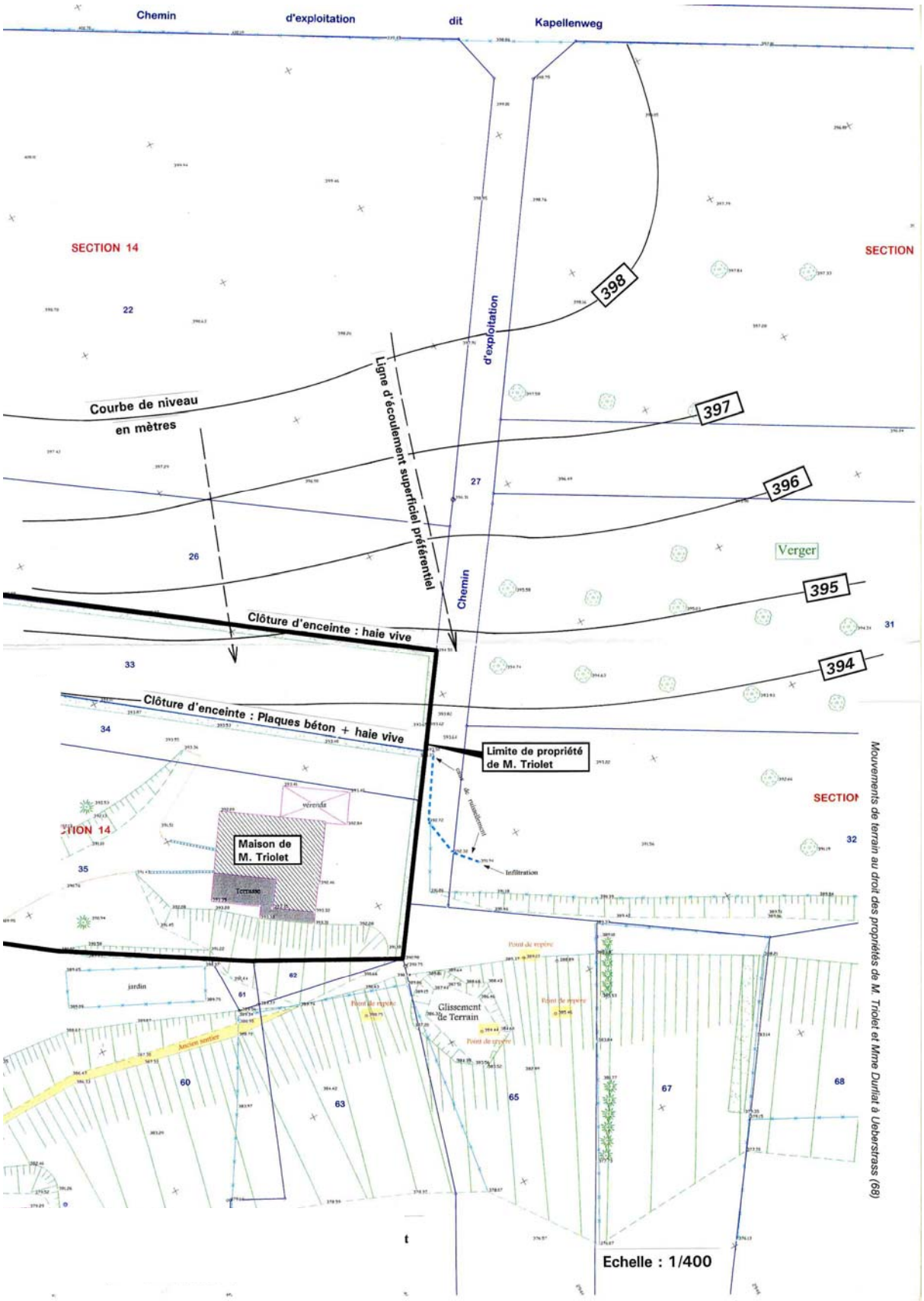


illustration 8 - Plan de situation de la propriété de M. Triolet et principales observations

Au Sud de la parcelle 65 s'étend la parcelle 63 appartenant à M. Muller Alfred, rue de la Carrière. Ce terrain non végétalisé (chevaux en pâturage sur sol à nu) s'étend depuis le haut du talus jusqu'à la maison de M. Muller en contre-bas.

Au-dessus de cette parcelle 63 se situent les parcelles 61/62/35/34/33 appartenant à M. Triolet, dont la maison au 7 rue Saint-Jean (parcelle 35) se trouve en position latérale par rapport au glissement de talus, à environ 16 m.

Historique

Le désordre survenu en janvier 1995 s'est manifesté par un arrachement d'environ 5 à 10 m^3 de formations de pente constituées de limons loessiques (éboulis de pente, éléments de solifluxion). Le glissement était accompagné d'un écoulement boueux. Les terres déplacées ont atteint le milieu de la parcelle 65 et les eaux se sont écoulées jusqu'à la route.

L'apparition de fissures au Nord du désordre de 1995 a été signalée par M. Triolet en avril 1998 aux services de la sous-préfecture d'Altkirch qui ont initié une réunion inter-services à la mairie d'Ueberstrass[4] et la première intervention du BRGM sur le site[5].

Un arrêté municipal relatif d'une part à la délimitation et à la signalisation de la zone de danger, d'autre part à l'interdiction de toute circulation ou occupation des lieux (à savoir les parcelles 63/65/67), a été pris par le maire le 17 avril 1998.

L'ingénieur subdivisionnaire a établi le 21 avril 1998 une étude sur l'importance du bassin amont. La surface drainée vers la zone sensible approche 1,5 ha.

Le rapport BRGM de mai 1998, relatif à l'intervention citée précédemment, conclut à la nécessité :

- « **à titre curatif**, de taluter puis terrasser le corps du glissement existant en veillant particulièrement à mettre en place un drain (tranchée de graves) pour recueillir les venues d'eau et éviter qu'elles ne remobilisent la masse qui sera terrassée. Les eaux devront être drainées vers les réseaux existants ;
- **à titre préventif**, de mettre en place des drains aux deux endroits vulnérables en tête de talus situés de part et d'autre de l'arrachement (rupture actuelle), l'un sur les indices de rupture, l'autre en contrebas de l'habitation existante ».

Un relevé détaillé de la zone à risque a été réalisé par un géomètre expert (M. Clog) en novembre 1998 à la suite de la réunion interservice à la demande de la sous-

---

[4] Réunion inter-services du 15/04/98 en mairie d'Ueberstrass (Sous préfecture d'Altkirch, gendarmerie, DDA, DDE, mairie d'Ueberstrass).

[5] Visite du 22/04/98 réunissant M. Daesslé du BRGM, M. Ley maire d'Ueberstrass, MM. Wininger, Stawski, Mayer, adjoints au maire, M. Triolet.

préfecture et de la mairie d'Ueberstrass (illustration 8) et les bornes ont été implantées afin de contrôler les déplacements éventuels du sol. A l'occasion du dernier contrôle planimétrique et altimétrique datant du 3 mars 1999, « aucun déplacement significatif n'a été relevé ».

Néanmoins dans la nuit du 21 février 1999, suite à de fortes précipitations, M. Triolet a constaté l'apparition d'un nouvel arrachement en continuité de l'arrachement de 1995 (côté opposé à sa propriété).

Aucun travail n'ayant à ce jour été réalisé et les désordres évoluant, la nécessité de pratiquer un nouveau diagnostic s'est imposée à la demande des services de la sous-préfecture.

Observations

Les observations ont été réalisées au cours des quatre visites de terrain[6] organisées par le BRGM. On remarque (planches photographiques de la propriété de M. Triolet) :

- un arrachement de 5 à 10 m^3 datant de 1995[7], présentant une revégétalisation partielle ;
- un nouvel arrachement en continuité du premier (extension vers le Nord, côté de l'arrachement opposé à la maison de M. Triolet) datant du 21 février 1999. Ce glissement d'importance moins grande que celui de 1995 n'a pas été cartographié par le géomètre lors de sa visite le 3 mars 1999. Les bornes planimétriques sous la zone de glissement n'ont *a priori* pas été atteintes ;
- des fissures signalées depuis avril 1998, au Nord des deux arrachements. Le géomètre expert n'a constaté aucun déplacement significatif entre novembre 1998 et mars 1999.

Une des visites de terrain a notamment été effectuée après un épisode pluvieux. Le BRGM a constaté, en particulier en période de pluie, une stagnation importante des eaux de pluie et de ruissellement à l'amont de la maison de M. Triolet :

- sur la parcelle 33 appartenant à M. Triolet et ceinturée d'une haie de conifères mise en place il y a une dizaine d'années. A l'Est la haie s'appuie sur une clôture constituée de poteaux en béton armé reliés en partie basse par des dalles en béton ;
- sur la parcelle 26 appartenant à Mme Merkt Béatrice (prairie).

---

[6] Visites du 14, 19, 21 et 26 avril en présence de respectivement M. Herment, M. Triolet et Mme Durliat, M. Ley et son adjoint M. Wininger, M. Messin.

[7] Dans un premier rapport, il s'agissait de 100 m^3 de « décollement » avec glissement et coulée boueuse. Aujourd'hui on voit bien qu'une dizaine de m^3 s'est libérée mais que le volume de terrain affecté est bien supérieur à 100 m^3 si on prend les fissures de tension arrière.

Autour de la propriété de M. Triolet, l'écoulement des eaux de ruissellement se fait selon un axe préférentiel en surface le long de la ligne de plus grande pente depuis les parcelles 26 et 33 vers le Nord-Est jusqu'au chemin d'exploitation (parcelle n° 27). Les eaux de ruissellement se dirigent ensuite en direction de l'Est (le long de la clôture) jusqu'à disparaître en bordure de la parcelle 32 (infiltration).

Il semble que cette eau infiltrée ressorte directement au niveau des arrachements : lors des épisodes pluvieux prolongés, un écoulement d'eau, persistant pendant une à deux journées après les pluies, se manifeste dans les terres décapées du glissement. L'eau s'écoule à partir du sommet du talus selon la ligne de plus grande pente vers le bas de la parcelle. Des sorties plus basses dans la zone de glissement ne sont pas à exclure (eaux souterraines) mais elles n'ont pas pu être observées lors des différents examens du site.

Une expérimentation a été menée par la mairie d'Ueberstrass à la suite d'épisodes pluvieux, elle tendrait à montrer que les eaux provenant de l'amont (cheminant sur les parcelles 26, 33 et 27), s'infiltrent au niveau de la parcelle 32 et ressortent au niveau du glissement de terrain à quatre endroits différents (traçage à la fluorescéine réalisé par le maire le 12 mai 1999)[8].

Diagnostic

- **Mécanismes**

Au droit de la propriété de M. Triolet, on observe des glissements en tête de talus, avec régression et extension vers le Nord selon la ligne de crête.

Ces mouvements font appel à plusieurs mécanismes mais il s'agit toujours d'une mobilisation de terrains limoneux (loess) sous l'action de circulations de surface ou d'eaux plus profondes.

Ces mouvements ont très vraisemblablement pour seule origine des modifications dans les circulations d'eau en surface et en profondeur, les premières pouvant influer fortement sur les secondes. En effet, on ne note, au droit des désordres, aucune modification notable dans la répartition des masses de terrain exception faites des terrassements réalisés pour la construction de M. Triolet [9] qui n'ont probablement eu aucune influence directe sur les glissements actuels. Par ailleurs, les périodes au cours desquelles les mouvements sont apparus, ne peuvent être considérées comme des périodes de pluies exceptionnelles.

Au droit de la propriété de M. Triolet, on peut faire l'hypothèse que les circulations de surface (amont de la parcelle 35), s'organisent selon la morphologie et les

[8] Courrier de la mairie d'Ueberstrass du 25.05.1999 relatant l'expérience de traçage.

[9] Construction réalisée en 1978 avec des fondations entre 80 cm et 1 m.

aménagements du terrain (propriétés parcelles 26 et 33, propriétés Triolet et chemin d'exploitation) et se concentrent au-dessus de la zone de glissement (limite parcelles 27 et 32). Ces eaux fragilisent la tête de talus limoneux (sursaturation et perte de cohésion des matériaux), alimentent les niveaux plus profonds et provoquent des surcharges hydrauliques déclenchant ainsi les glissements.

On notera

- la présence à 50 cm à l'intérieur de la clôture ceinturant la propriété de M. Triolet (parcelle 35) d'un drain qui permet de récupérer l'eau de ruissellement passant sous les plaques depuis 1982. Ce réseau n'est pas dimensionné pour recevoir toutes les eaux de ruissellement de l'amont ;
- l'existence d'un réseau d'évacuation des eaux (pluviales et usées) sur la propriété Triolet qui canalise les eaux dans une direction opposée à celle du glissement et qu'elles ne peuvent donc pas avoir d'influence sur le phénomène.

- **Evolution possible**

Aujourd'hui les arrachements observés, en tête de talus, à proximité de la propriété de M. Triolet ont une ampleur limitée mais évoluent depuis 1995 avec régression et extension vers le Nord selon la ligne de crête.

L'évolution des arrachements existants ainsi que le développement latéral des fissures sont encore envisageables actuellement, soit de façon accidentelle lors d'un épisode pluvieux exceptionnel ou à la suite d'une longue période de précipitations, soit de façon plus progressive. L'extension vers la construction de M. Triolet pourrait avoir des conséquences sur la sécurité des biens et des personnes.

Recommandations

Malgré la faible ampleur des mouvements, les moyens à mettre en œuvre sont toujours importants lorsque les désordres sont apparus et que les terrains sont fragilisés.

Pour enrayer les phénomènes observés, il est recommandé de procéder en deux étapes :

- mettre en œuvre des techniques simples et une surveillance adaptée afin d'observer les évolutions éventuelles ;
- compléter éventuellement par des méthodes de drainage plus lourdes si l'efficacité des premiers travaux est insuffisante.

Ainsi il convient dans un premier temps de :

- détourner les eaux de ruissellement à l'amont de la maison de M. Triolet afin de mettre en place un déversement du côté Sud de la maison par des rigoles de surface ou du côté Nord de la même façon à partir de fossés imperméabilisés

⇨ *Section 14 parcelles 26/33*

- détourner les eaux de ruissellement juste à l'amont de la tête de talus avec rejet hors de la partie fragilisée ; ⇨ *Section 14 parcelles 27/32/65*
- remodeler la partie glissée (y compris la zone de fissures à reboucher) avec comblement par des graves drainantes associées à un drain dans l'axe de la pente (fonction de butée et de drainage) puis revégétalisation. ⇨ *Section 14 parcelle 65*

Dans un deuxième temps et si ces mesures se révèlent insuffisantes, il est recommandé de mettre en place un drainage lourd et profond selon un projet qui devra être dimensionné de façon spécifique (⇨ *Section 14 parcelles 27/32/65*).

Le coût des travaux à envisager peut être évalué à 100/200 kF en première approximation selon les options retenues.

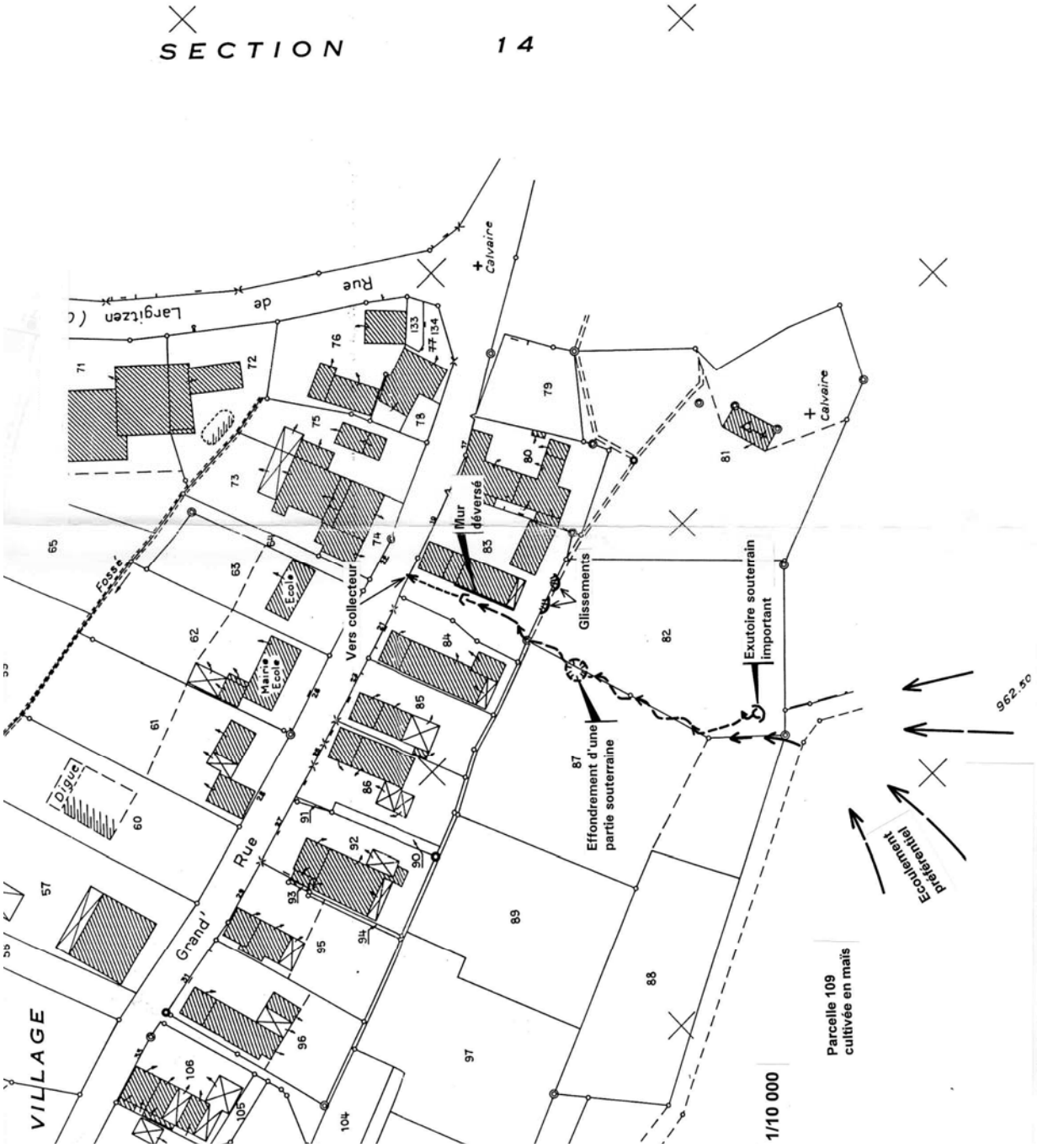
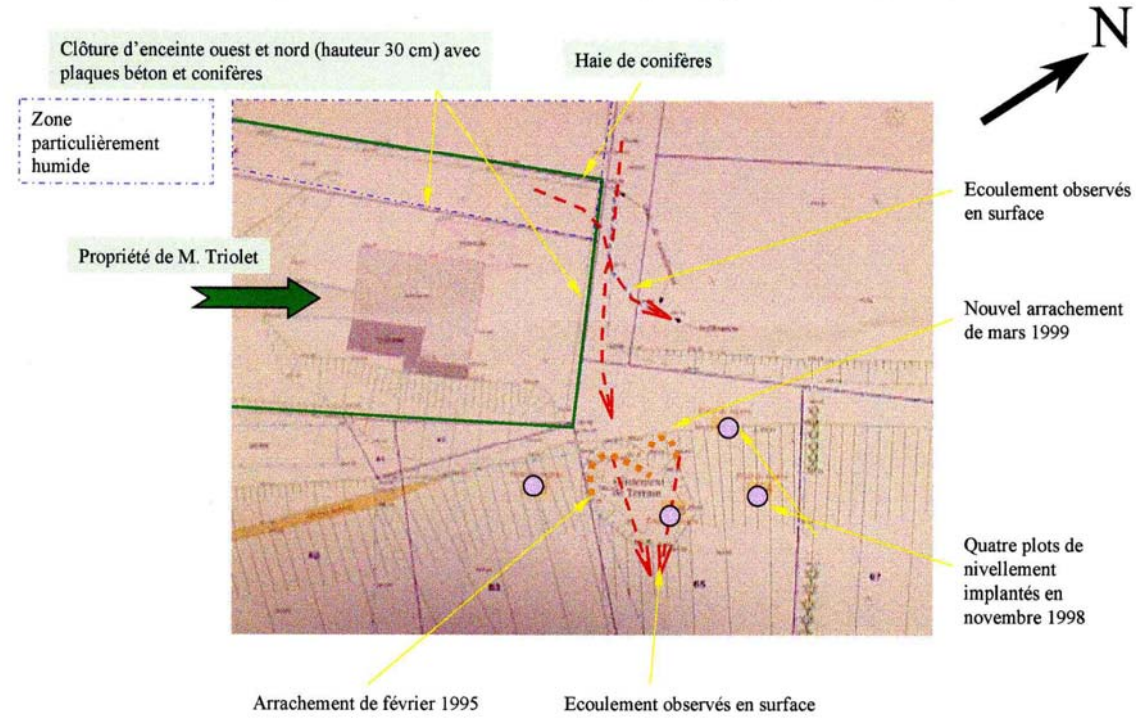


illustration 9 - Plan de situation de la propriété de Mme Durliat et principales observations

Planches photographiques de la propriété de M. Triolet

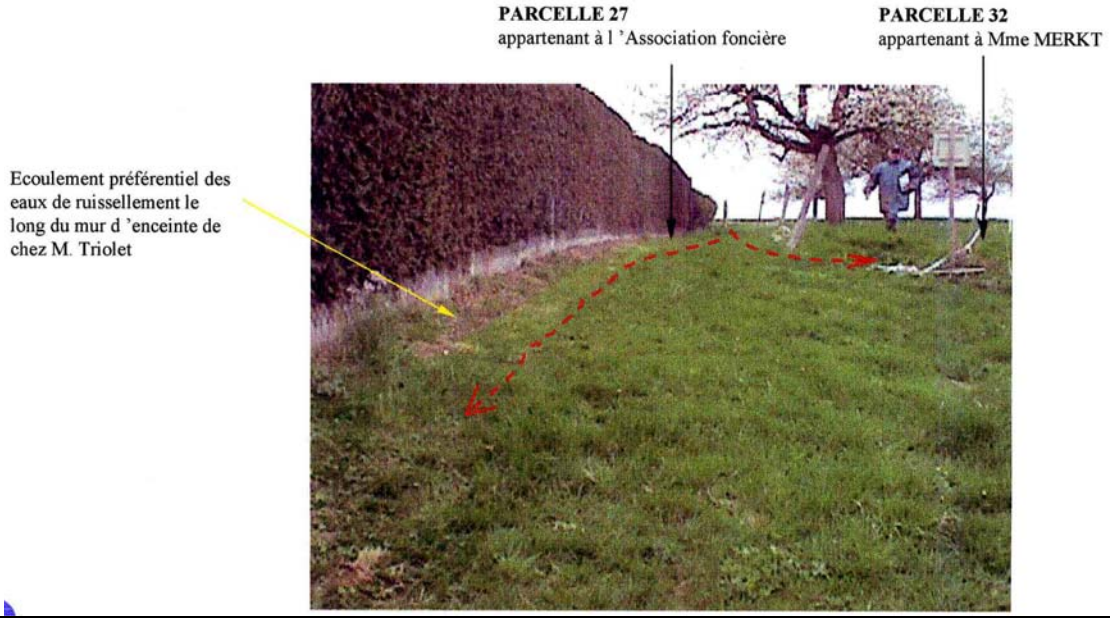
UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET

Plan parcellaire avec mention des principales observations



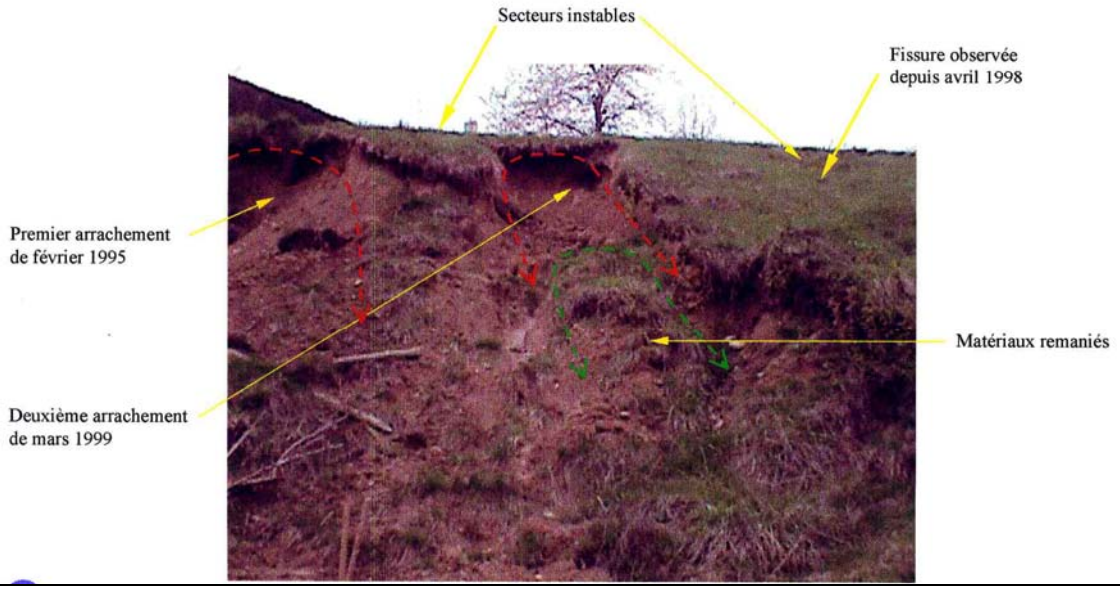
UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 26 avril 1999
Aval de la propriété - côté est

UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 14 avril 1999
Amont de la zone de glissement - parcelles 27 et 32 (côté nord)



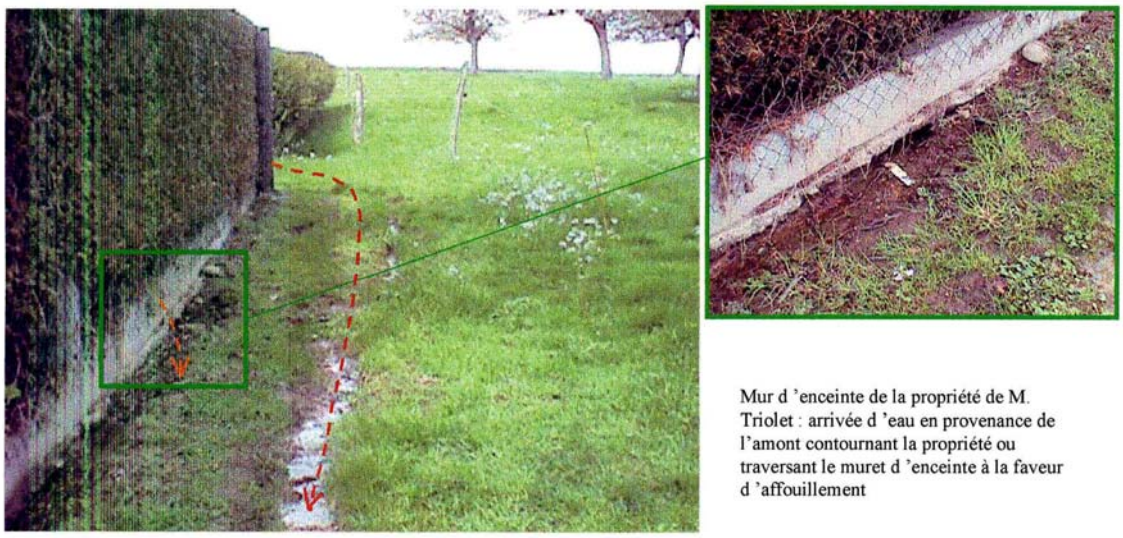
UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 14 avril 1999
Zone de glissement sur la parcelle 65 - côté est de la maison

UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 14 avril 1999
Zone de glissement sur la parcelle 65



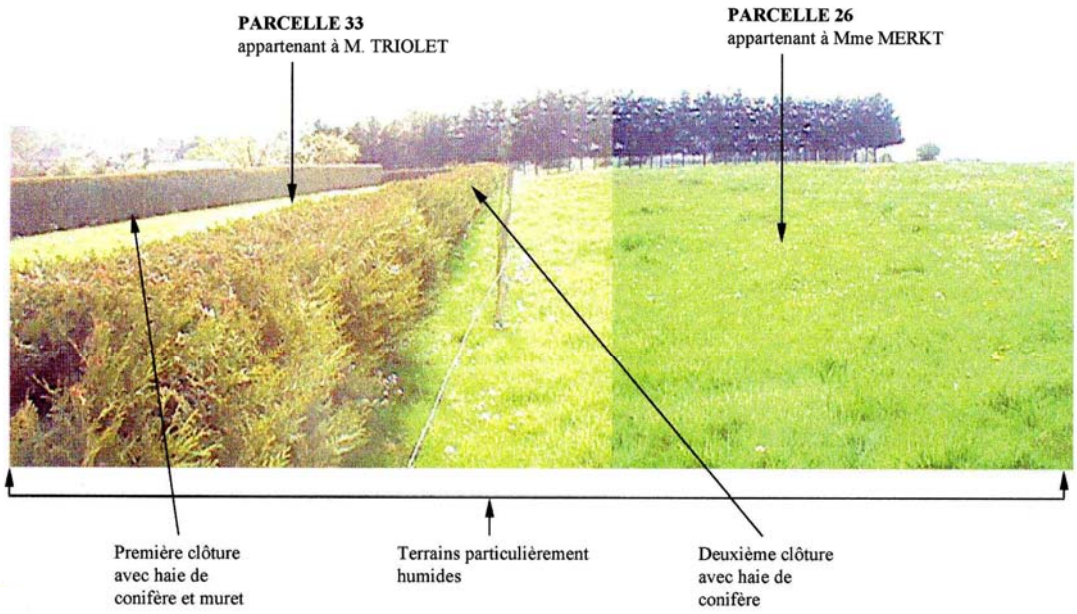
UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 14 avril 1999
Aval de la zone de glissement - parcelle 65

UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 19 avril 1999 (après épisode pluvieux)
Amont de la zone de glissement - parcelles 27 et 31 (côté nord)



Mur d 'enceinte de la propriété de M. Triolet : arrivée d 'eau en provenance de l'amont contournant la propriété ou traversant le muret d 'enceinte à la faveur d 'affouillement

UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 14 avril 1999
Amont de la propriété et de la zone de glissement (côté ouest)

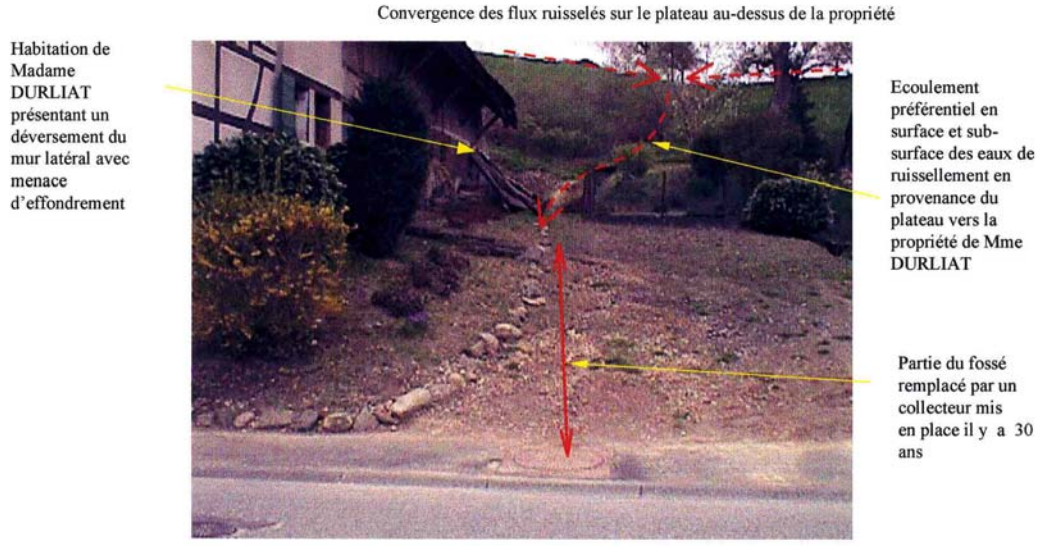


UEBERSTRASS : Glissement de talus à proximité de la propriété de M. TRIOLET - Visite du 26 avril 1999
Aval de la propriété - côté est

Planches photographiques de la propriété de Mme Durliat

UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 14 avril 1999
Plateau cultivé à l'amont

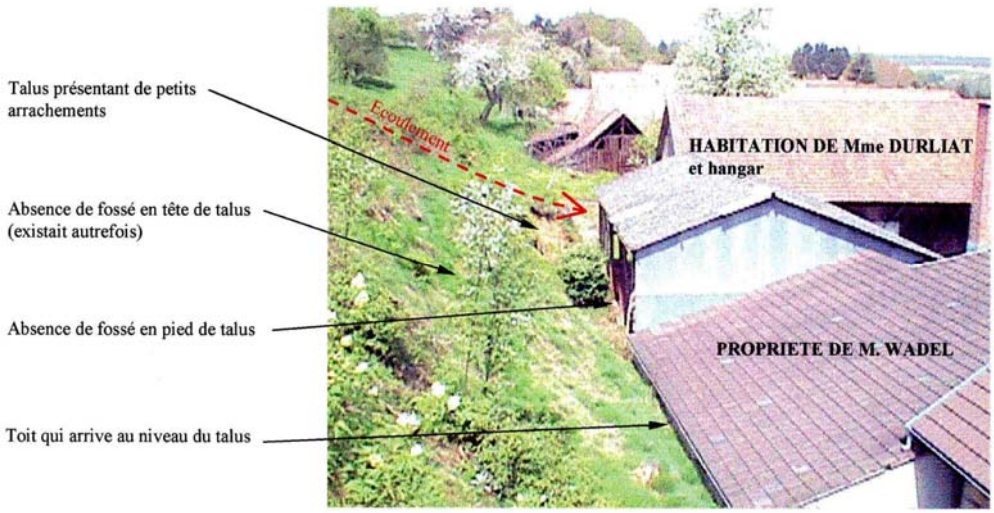
UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 14 avril 1999
Fossé principal - côté nord des bâtiments



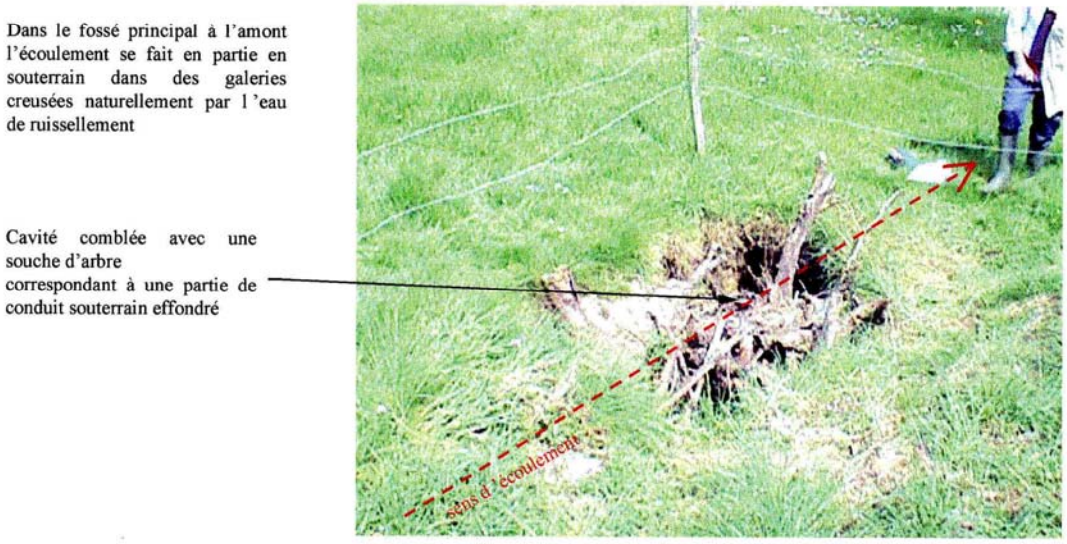
UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 14 avril 1999
Fossé principal - côté nord des bâtiments

UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 26 avril 1999
Glissements superficiels du talus - côté ouest des bâtiments

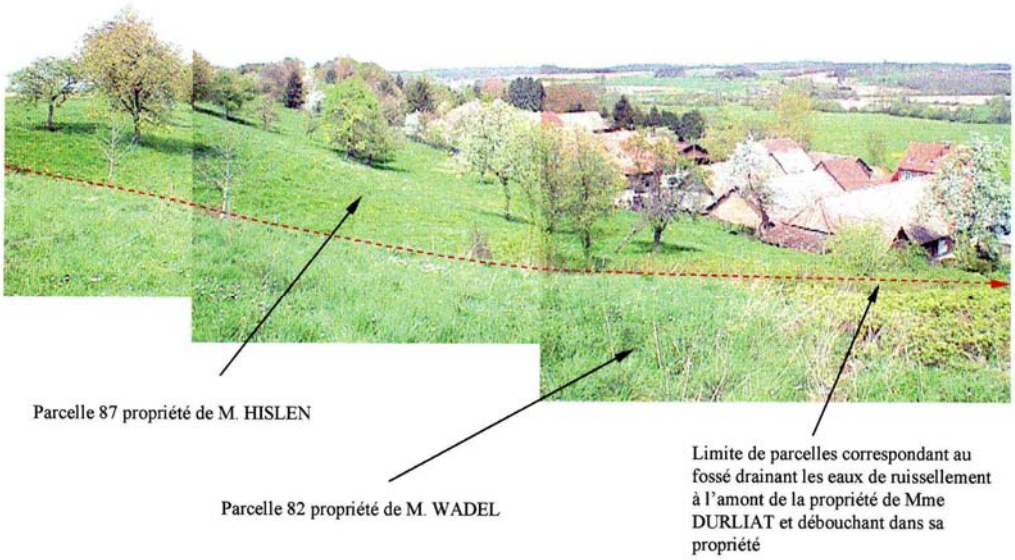
UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 26 avril 1999
Vue du côté ouest



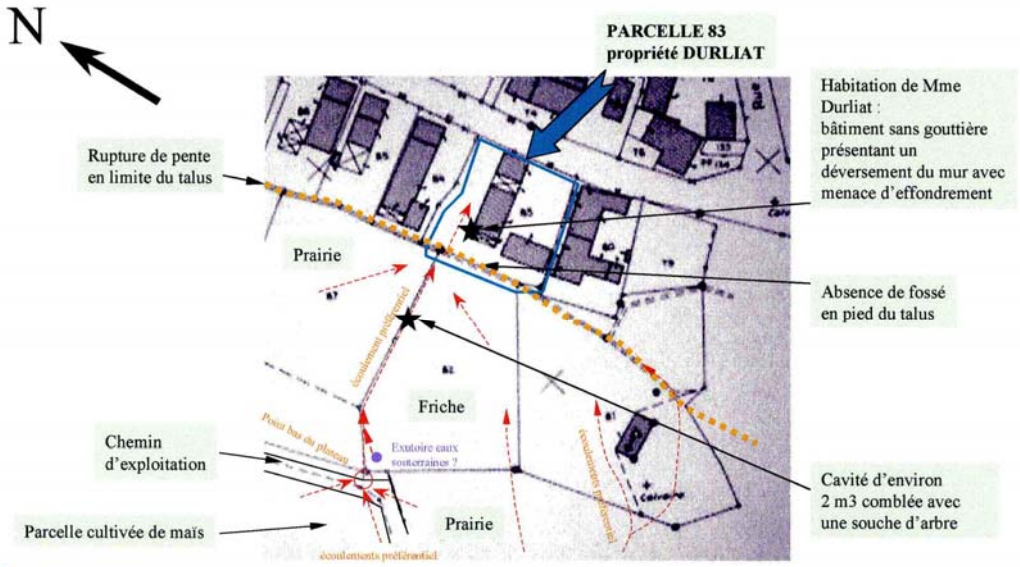
UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 26 avril 1999
Fossé principal à l'amont



UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 26 avril 1999
Fossé principal à l'amont - panorama vers le nord



UEBERSTRASS : Erosion à l'amont de la propriété de Mme DURLIAT
Visite du 14 avril 1999
Plan parcellaire avec mention des principales observations



2.4. GLISSEMENT A SOULTZMATT (68) EN 2001

Référence : André Vial (2001c).

2.4.1. Introduction : circonstances de l'intervention du BRGM en date du 19/03/01

Des indices de glissement de terrain en cours sur le territoire de la commune de Soultzmatt nous ont été signalés le 19/03/2001 à 15h par M. Salançon du SID Colmar (Protection Civile - Préfecture de Colmar) lui-même alerté par le maire de Soultzmatt, M. Diringer. Ce glissement de terrain affectait une ferme, dite ferme du Blumenstein, située entre l'agglomération de Soultzmatt et le village de Wintzfelden, face à la route menant à l'hôtel de la Vallée Noble (illustration 10). En raison des dommages déjà subis par l'habitation cet appel avait un caractère d'urgence si bien que nous nous sommes rendus sur les lieux aussi rapidement que possible le lundi 19 mars 2001.

2.4.2. Observations effectuées lors des visites

La ferme du Blumenstein

Nous avons visité la ferme avec le fils des propriétaires de la ferme, M. Joël Ancel.

Cette ferme est constituée d'un seul bâtiment assez allongé se subdivisant en deux parties. Vers l'arrière se trouvent un atelier et une remise au niveau inférieur, surmontés à l'étage par une grange. A l'avant, face à l'arrivée du chemin desservant la ferme, se situe la maison d'habitation proprement dite.

- **Description et historique succinct**

La ferme a été construite il y a environ 90 ans au pied de la montagne du Heidenberg en bord de ruisseau. Les prairies du coteau ont été entaillées le long de la ferme sur une largeur d'environ 2,5 m pour dégager une zone d'accès aisée. Il en résulte l'existence d'un escarpement très raide d'une hauteur d'environ 2 m à 2,5 m côté montagne de la ferme.

A une profondeur de 1 m sous le pied de l'escarpement existe un tuyau de drainage.

La ferme a subi des dommages lors d'une inondation en 1983. M. Lang, polyexpert commis par les assurances GROUPAMA ALSACE, a mentionné que des indices de glissement avaient été signalés en 1999. Aucun dégât important n'avait été occasionné.

L'assurance contractée auprès de GROUPAMA ALSACE pour la ferme du Blumenstein par son propriétaire M. Gilbert Ancel couvre les risques de catastrophe naturelle.

- **Nature du sous-sol**

A l'extrémité de la ferme en direction de la forêt des roches "sub-affleurent" dans l'escarpement : il s'agit de grès micacés lités assez friables, altérés et de teinte rose violacé, pris dans un ensemble terreux assez fortement argileux. Ces roches ne sont probablement pas en place : il s'agirait plutôt d'éléments rocheux déplacés vers le bas le long de la pente.

- **Indices de glissement de terrain extérieurs à la ferme**

Sur le passage aplani entre bâtiment et escarpement est apparu un bourrelet de sol d'environ 5 à 15 cm de large et 5 à 10 cm de haut qui serpente pratiquement sur toute la longueur de la ferme à une distance d'environ 30 cm du pied de l'escarpement. Ce bourrelet affecte aussi une petite zone goudronnée à l'avant de la ferme. Ce bourrelet est la manifestation de la compression des terrains en phase de démarrage d'un glissement de terrain. Une rigole de drainage creusée en surface mardi 20 mars montrait la présence d'une venue d'eau bien que sa profondeur, 5 cm, soit très insuffisante pour drainer le front des terrains comprimés. La présence de cette eau est aussi tout à fait caractéristique d'un glissement en préparation.

- **Etat du bâtiment**

Au **niveau inférieur, le sol de l'atelier et de la remise** se situe en partie au-dessus du ruisseau (ancienne scierie dont l'énergie était fournie par le ruisseau via une roue à aubes). Cette partie présente de très grosses lézardes ouvertes (plusieurs centimètres de large) sur deux murs de soutien (murs transversaux par rapport à la longueur). Les poutres en acier qui supportent le plancher de la grange au niveau supérieur ne semblent pas affectées mais elles s'appuient sur ces murs lézardés et s'écrouleront si ceux-ci s'éboulent. Côté vallée le mur ouest s'est désolidarisé de son soubassement. Celui-ci semblait lui-même fortement raviné par le ruisseau sous-jacent.

Au **niveau supérieur** le mur à l'extrémité sud de **la grange**, le plus proche de la zone de glissement de terrain décrite ci-dessous, est lui-même fortement lézardé.

L'ensemble de l'arrière de la ferme, remise, atelier et grange paraît déstructuré et prêt à s'effondrer.

La **partie habitation**, située un peu plus loin de la zone de glissement est moins touchée par ce dernier. Nous avons cependant observé une fissure en façade qui pourrait s'être élargie ces derniers jours. De plus les poutres en acier supportant le plancher de la grange semblent prendre appui dans le mur arrière de l'habitation. L'effondrement de la grange pourrait donc entraîner celle de l'habitation. Il serait urgent de consulter un expert en structure de bâtiment pour mieux valider les risques encourus.

Quel que soit l'état actuel de la partie habitation et de la structure de l'ensemble du bâtiment, les risques d'effondrement concerneront toute la ferme si le glissement de

terrain, dont les prémices inquiétantes sont bien visibles, s'effectue en incluant la zone de la ferme.

Ces risques sont d'autant plus grands que les précipitations atmosphériques à venir seront abondantes et se poursuivront longtemps.

Le glissement de terrain *(illustration 11)*

- **Contexte géologique**

Le glissement prend place dans les formations situées à la base des séries sédimentaires d'âge mésozoïque inférieur. Plus précisément il s'agit dans le Trias inférieur des formations appelées Buntsandstein moyen et Bunsandstein supérieur.

- à la base se trouve la formation des "grès vosgiens" (t1b) qui affleurent en aval en fond de vallée près des sources minérales de Soultzmatt ;
- au-dessus existe un banc de conglomérat appelé "conglomérat principal" (t1c) dont certains affleurements sont très proches ;
- au-dessus se situe la formation dite des "Couches intermédiaires" (t2a) composée de grès argileux, parfois micacés de teinte rouge violacée ;
- la formation des "grès à Voltzia" affleure au sommet des séries rocheuses concernant cette zone.

  Dans un affleurement proche de la zone de glissement la direction des couches est de N135° pentée vers le Sud-Ouest de 10° c'est à dire dans le sens d'écoulement du glissement de terrain.

  Quelques failles affectent ces formations d'une manière assez complexe ; une faille assez importante, de direction NS, serait située à quelques mètres à l'ouest de la ferme du Blumenstein.

Apparemment le glissement de terrain prend place dans la série dite "couches intermédiaires" sous les "grès à Voltzia". Il s'agit de roches relativement friables et fragiles comportant des niveaux fortement argileux totalement imperméables. Cette formation est favorable à des glissements de terrains s'il s'y rajoute des apports en eaux de type source.

- **La zone de glissement de terrain proprement dite**

Il s'agit d'un ancien glissement vieux probablement de quelques centaines d'années qui se remet actuellement en mouvement suite aux pluies abondantes et fréquentes qui se produisent depuis Novembre 2000.

Le glissement lui-même est constitué par une "langue" de glissement large d'environ 100 m et longue de 125 à 150 m, démarrant juste à l'aval d'une grosse source (environ 20 l/mn actuellement). Nous avons observé à l'aval immédiat de la source une loupe de glissement typique. Le front de la zone de glissement se situe tout près du ruisseau

qui coule en contrebas de la colline et forme le bord de la vallée. Ce glissement ancien a pu se manifester sur de nombreuses années par des mouvements de faible ampleur de temps à autre ainsi que l'atteste l'alerte de 1999 sur la ferme du Blumenstein.

L'ensemble de la zone susceptible de glisser concerne une masse de terrain altéré dont la taille est d'environ 200 m par 200 m sur une épaisseur que l'on peut estimer variant entre quelques m à une dizaine de m, voire un peu plus dans la zone en front de glissement.

Actuellement le front du glissement semble se remettre en phase de démarrage de mouvement. Il affecte très sérieusement le chemin qui relie la ferme à la route via le bas de la colline du Heidenberg. Les symptômes de cette remise en mouvement sont des fractures en marches d'escalier perpendiculaires au chemin, le coupant en compartiments avec des décalages verticaux entre les panneaux ainsi déterminés. Lundi 19 mars la hauteur maximum de ces marches atteignait 20 cm environ. Elle était de 35 cm mardi 20 mars. Certaines de ces fractures étaient ouvertes sur plusieurs centimètres de large. Suivant des témoignages mercredi 21 mars ces mouvements se continuaient en s'accentuant. Ces témoignages faisaient aussi état d'apparition de petites sources en de multiples points de la langue principale du glissement de terrain. Mardi 20 mars aucuns faits ne permettaient d'affirmer d'une façon incontestable qu'il y avait mouvement horizontal notable du front de glissement vers la rivière.

La zone du front de glissement a tendance à s'élargir sur les deux cotés nord et sud en bas de pente près du ruisseau. C'est pourquoi le glissement affecte maintenant la ferme du Blumenstein qui est directement menacée. Si le glissement de terrain n'était pas stabilisé et stoppé dans un très proche avenir, il pourrait se mettre en mouvement et à terme boucher la rivière en contrebas puis la route de Soultzmatt au village de Wintzfelden.

2.4.3. Conclusions déduites des observations

Il y a tout lieu de prendre un certain nombre de mesures dont certaines concernent l'immédiat : protection des personnes, de la ferme, arrêt des mouvements de glissement actuel si possible. D'autres sont moins urgentes : stabilisation de la zone de glissement et fin de tout risque de mouvement de terrain, détournement du ruisseau afin d'assécher la zone du front du glissement.

2.4.4. Recommandations de mesures et de travaux

1. Mesure conservatoire en urgence :

- **mise en sécurité** des personnes tant qu'il y aura risque ;
- creusement par le propriétaire **d'un petit fossé** de 30 cm de large par 50 cm de profondeur pour drainer le pied de l'escarpement où des indices de glissement sont visibles ;
- **détournement** du cours du ruisseau provenant de la source qui alimente actuellement en eau le glissement par son sommet ;

- **mesures du déplacement** du glissement de terrain par la pose d'**inclinomètres** en faisant appel à une société d'ingénierie géotechnique spécialisée dans ce genre d'opération.

2. S'assurer que les eaux du ruisseau mentionné ci-dessus ne risquent plus d'alimenter le glissement : écoulement sur fondement imperméabilisé du canal creusé (bâches plastifiées, voire lit bétonné).

3. Eventuellement **s'assurer de la stabilité à l'avenir de la zone en cours de glissement** par des drains et autres moyens à déterminer.

4. Dévier le cours d'eau principal du vallon (passant actuellement devant la ferme du Blumenstein) de façon à l'éloigner de la zone du glissement et éviter tout affaiblissement des fondations de la ferme du Blumenstein.

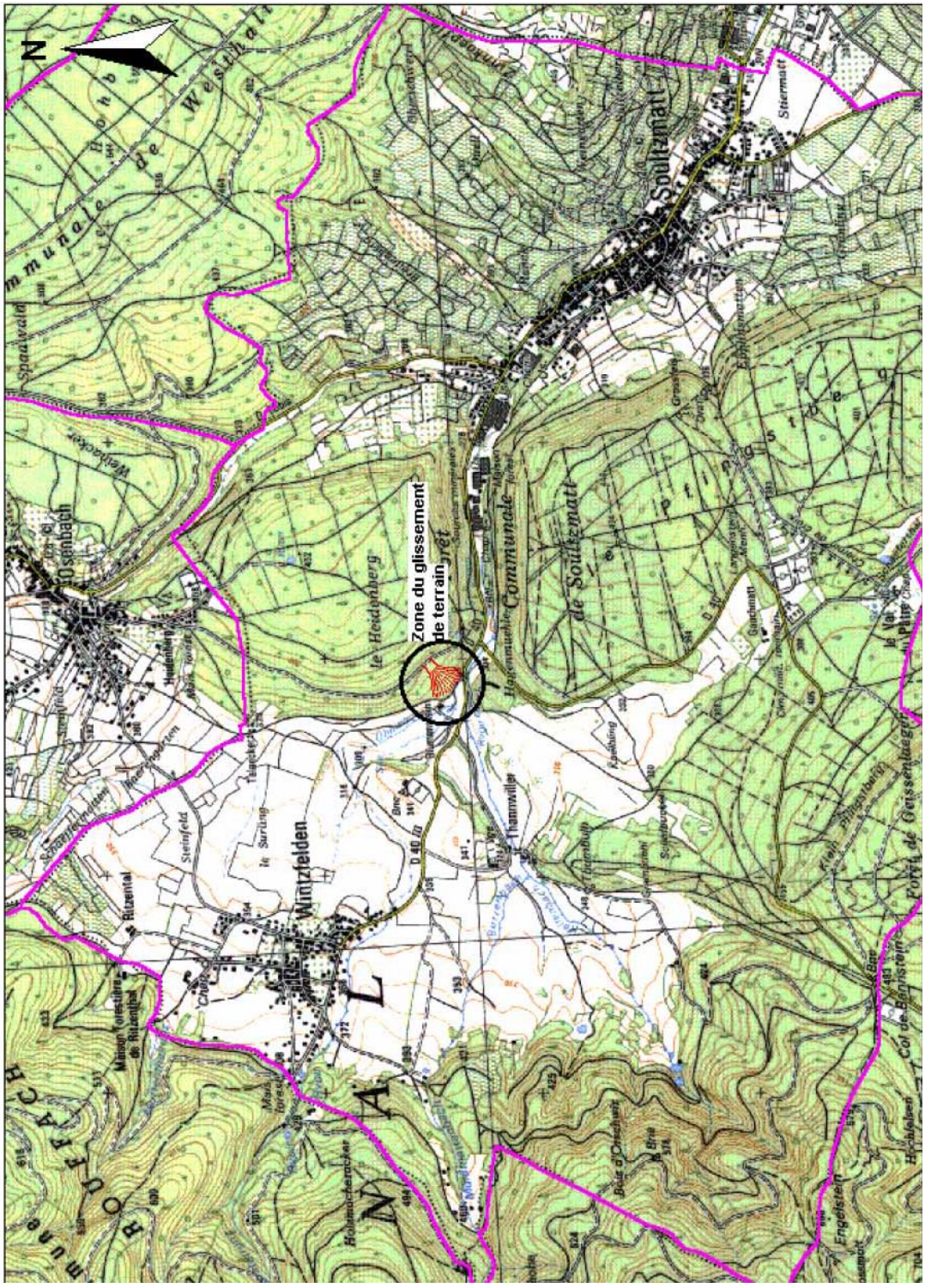


illustration 10 - Plan de localisation du glissement de terrain situé entre agglomération de Soutzmatt et village de Wintzfelden- Échelle 1/25000

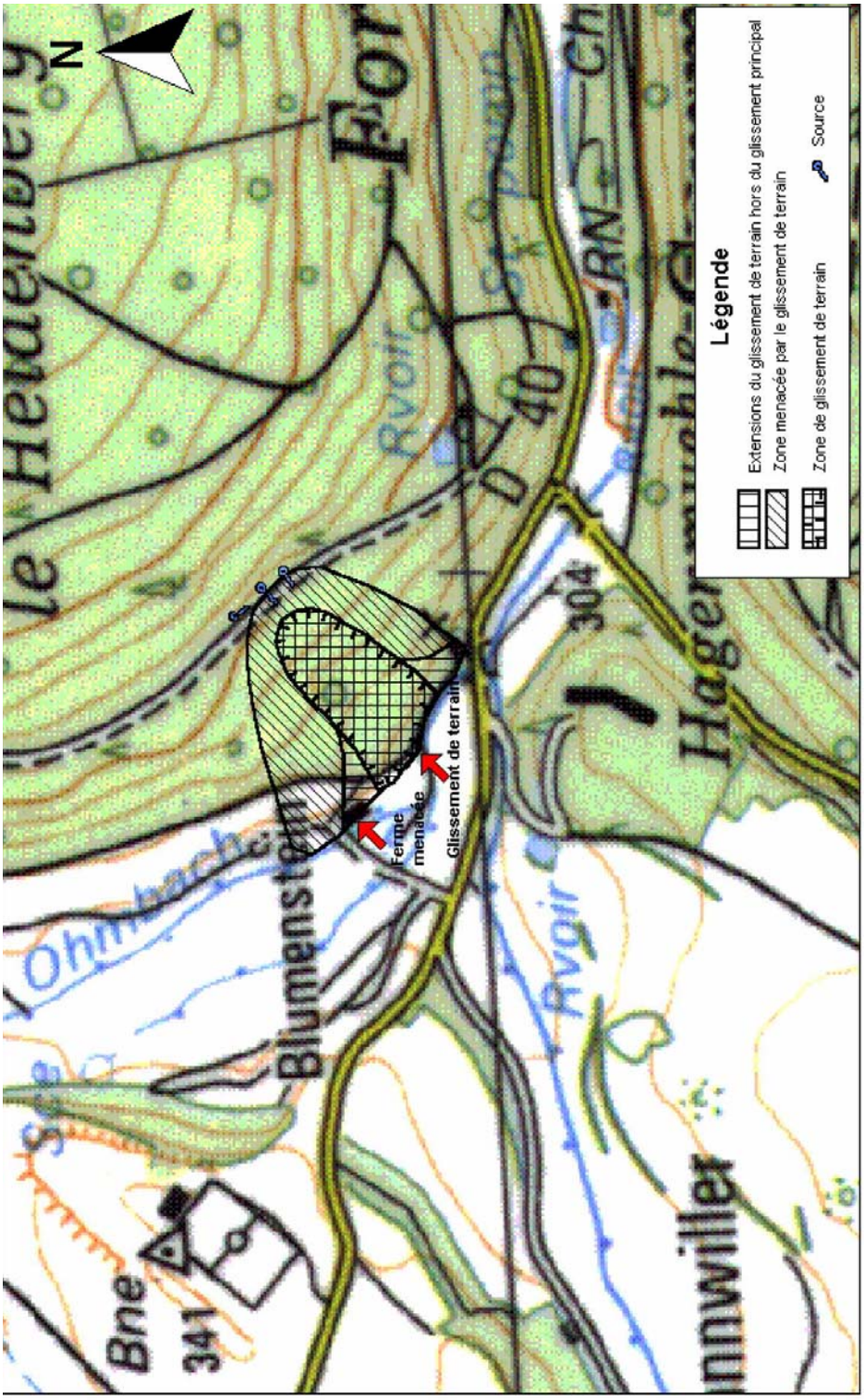


illustration 11 - Plan de positionnement du glissement de terrain affectant la ferme du Blumenstein. Échelle 1/5000

2.5. GLISSEMENT DE TERRAIN A WEILER/ WISSEMBOURG (67) EN 2001

Références : André Vial et Michel Messin (2001).

2.5.1. Cadre de l'intervention du BRGM

Des indices de glissement de terrain nous ont été signalés sur le territoire de la commune de Wissembourg le matin du 23/03/2001 par M. Reinwalt, directeur des Services Techniques (avec l'accord de la Protection Civile : M. Jouve), lui-même alerté par des employés municipaux. Ils se sont produits sur le territoire de la commune de Wissembourg au lieu-dit Weiler (illustration 12), un petit bourg situé le long de la vallée de la Lauter, à environ deux kilomètres à l'ouest de l'agglomération proprement dite. Ces indices sont situés au début du chemin communal faisant suite à la rue Frédéric Bastian sur un terrain appartenant à M. Pfister. En raison des risques encourus par plusieurs habitations en contrebas de la pente nous nous sommes rendus sur les lieus dès l'après-midi du vendredi 23 mars 2001 pour évaluer les menaces, formuler un diagnostic et recommander les mesures d'urgences.

2.5.2. Contexte météorologique

L'hiver 2001 a été caractérisé à Wissembourg, comme sur la plus grosse partie du territoire, par une forte pluviométrie, exceptionnelle lorsqu'on la compare avec les années précédentes. En conséquence les nappes phréatiques ont été tout naturellement fortement rechargées. Les formations superficielles entre roche massive et sols ont été également saturées en eau. Dans le cas du glissement de terrain à Wissembourg on peut même parler de sursaturation en eau des formations superficielles.

2.5.3. Contexte géologique

Le glissement, que nous qualifierons plus exactement d'éboulement de terrain localisé, prend place dans les formations situées à la base des séries sédimentaires d'âge mésozoïque inférieur, au-dessus de séries d'âge paléozoïque (*cf.* carte géologique illustration 13). Il s'est produit dans la formation des **grès d'Annweiler** du Buntsandstein inférieur située à la base du Trias. Cette formation est constituée de grès rouges fins et de silts argileux rouges et blancs.

L'ensemble des formations avoisinantes est fortement faillée au niveau de Weiler par le champ de fractures dit "de Wissembourg", si bien que les grès du Buntsandstein se trouvent placés anormalement en contact avec des séries plus anciennes (Paléozoïque) ou plus récentes (Trias moyen et supérieur) en un condensé de la géologie régionale.

Structure et tectonique locale : Dans un affleurement proche de la zone de glissement la direction des couches est notée sur la carte géologique à environ N30°

pentée vers l'Est de 35°. Une des failles de direction SSW-NNE qui affectent ces formations est très proche de l'éboulement de terrain, immédiatement à l'Est de celui-ci (illustration 13).

Observations géologique au niveau de l'éboulement de terrain : Des bancs assez massif de grès rouges ("**grès d'Annweiler**" (**t1a** sur la carte géologique)) affleurent à la faveur de l'escarpement qui borde le chemin, puis des habitations qui entaillent la colline vers le Sud-Est. Il s'agit de grès rouges fracturés assez fins, bien cimentés, durs, en bancs épais, sans intercalations argileuses ou silteuses visibles[10]. A une vingtaine de mètres à l'Est de l'éboulement (à l'extrémité est de la propriété de M. Pfister), les roches présentent un aspect plus fortement fracturé, ceci s'expliquant probablement par la proximité de la faille qui limite ces affleurements à l'Est (illustration 13).

2.5.4. Observations effectuées lors des visites des 23 et 28 mars 2001 (*cf.* illustration 14, Photos 1 à 5)

Morphologie des terrains aux alentours de l'éboulement

L'éboulement s'est produit sur la partie de pente la plus accentuée du flanc ouest d'une montagne boisée dont la crête sommitale vers l'Est marque la frontière entre la France et l'Allemagne (illustration 12). A 100 m de l'éboulement vers le Nord-Est (45 m au-dessus en dénivelé) se situe un replat, occupé par une prairie, dont la pente est en moyenne de 5 à 10 %. Plus bas sur le flanc de montagne la pente, recouverte de forêts, s'accentue pour atteindre 35 %. Enfin les 40 derniers mètres au-dessus du chemin communal qui prolonge la rue Frédéric Bastian sont formés par une pente boisée très raide de 65 % voire plus par endroit. Près des habitations de la rue Frédéric Bastian les flancs sont dénudés. Au niveau des maisons la roche sous-jacente a été entaillée lors de leur construction si bien que la pente atteint des valeurs comprises entre 60 et 75° (degré sexagésimaux).

Au niveau de l'éboulement l'absence de végétation s'explique par le fait que de vieux arbres préexistants ont été coupés il y a une dizaine d'années, comme l'attestaient deux souches encore en place les 23 et 28 mars 2001, sans avoir été remplacés par de nouvelles pousses.

L'éboulement lui-même

L'éboulement, très localisé, se situe au début du chemin communal qui prolonge la rue Frédéric Bastian une dizaine de mètres après l'habitation de M. Pfister. Son origine est située dans l'escarpement dénudé qui surplombe le chemin à cet endroit (illustration 14, **Photos 1**, **2** et **5**). Cet escarpement mesure un peu plus de 20 m de long sur une

[10] Cependant les conditions d'affleurement ne sont pas favorables à la bonne observation des roches en place.

hauteur de 7 à 8 m. L'éboulement s'est produit dans les 15 m les plus au Nord alors que la partie sud de l'escarpement est relativement stabilisée sur environ 7 m par un mur de soutènement (*cf.* **Photos 1** et **2**).

A la base de l'escarpement un muret constitué d'éléments préfabriqués de béton (*cf.* **Photo 3**) a été construit[11] le long du chemin sur une fondation bétonnée de 10 à 20 cm de haut prenant appui sur la roche en place (témoignage de M. Pfister). Cette assise stable reposant directement sur des grès durs n'a pas bougé.

Au-dessus ***l'escarpement est constitué*** par des formations superficielles composées de blocs de grès dur dans une matrice argileuse sur une épaisseur[12] de 0,5 m à 1,5 m dans un milieu très ouvert ayant déjà subi des mouvements de réajustement à la suite des terrassements.

Le 23 mars 2001 de fortes venues d'eau se sont produites sur le lieu de l'éboulement. Le ciment argileux de ces formations présentait en plusieurs points de l'escarpement la consistance d'une boue pratiquement liquide ayant perdu toute cohésion, avec entraînements boueux locaux des argiles de surface.

Environ **1 m³ de blocs[13] de rocher** se sont éboulés (*cf.* **Photo 3**). Ces blocs provenaient de deux niches d'arrachement principales :

- l'une au sommet nord de l'escarpement (*cf.* **Photos 1**, **2** et **5**),
- l'autre au-dessous et à quelques mètres plus au nord, sous deux grosses souches d'arbre à l'arrière de la haie de thuyas qui existait encore en bordure de chemin (*cf.* **Photo 3**).

Lors de la 1ère visite il apparaissait nettement que le phénomène risquait de se reproduire et même de s'amplifier si les pluies se poursuivaient avec la même intensité que les jours précédents. Il était aussi évident dans la configuration du terrain actuelle que la chute des blocs les plus gros pouvait atteindre deux habitations en contrebas, l'une d'entre elles un restaurant, en causant des dégâts matériels sérieux voire des dommages corporels aux personnes.

Le 28 mars un équilibre précaire était en partie assuré par la végétation et la cohésion des matériaux plus secs. On notait également l'existence de chenaux en subsurface résultant probablement de l'existence des anciennes racines des arbres maintenant coupés.

---

[11] Ce muret n'a pas de drains si bien que l'eau suinte au niveau des raccords entre plaques (*cf.* **Photo 4**).

[12] avec des blocs variant de quelques centimètres à plus de 50 cm de long (volume maximum d'environ 0.5 m³ soit une masse voisine de 1000 kg)

[13] de taille centimétrique à décimétrique, le plus volumineux mesurant environ 20 X 15 X 10 cm.

A cette même date nous avons observé par ailleurs l'existence de blocs de grès également en équilibre précaire dans l'escarpement rocheux situé à l'arrière de la maison de M. Pfister.

A noter aussi un petit glissement de terrain sur le bord ouest du chemin communal, côté habitations en contrebas, à quelques mètres vers le Nord-Ouest de l'éboulement. A cet endroit le chemin se situe sur une partie de flanc de coteau très abrupt. Le phénomène très limité en extension et volume s'explique par l'absence d'un mur de soutènement qui serait nécessaire pour assurer la stabilité du chemin dans une telle pente.

2.5.5. Origine du phénomène

De **fortes précipitations atmosphériques** s'étaient produites courant mars, notamment les jours précédant l'éboulement. Il en résulta des ruissellements importants et une sursaturation des formations superficielles de l'escarpement. La présence des vieilles racines d'arbre des arbres coupés, qui jouent le rôle de conduits hydrauliques en cas de fortes pluies, accentua le phénomène.

L'**escarpement forme un talus très raide** dont la stabilité n'est possible que dans des conditions favorables.

Les **arbres en tête de talus** lorsqu'ils sont trop gros ouvrent des fissures et permettent à l'eau de pénétrer dans les formations de surface.

L'eau à l'origine du phénomène de sursaturation des formations superficielles d'une des zones de l'escarpement pourrait aussi provenir de circulations dans des parties de roche fracturée en relation avec une faille très proche à l'extrémité sud-est des affleurements de grès.

2.5.6. Diagnostic, menaces et recommandations (en date du 28 mars 2001)

Diagnostics et menaces

Le phénomène observé est un ***mouvement de terrain que l'on peut qualifier de superficiel***, peu fréquent, s'apparentant à une coulée-glissement ayant mobilisé des volumes restreints.

Les ***menaces pour les biens et les personnes sont cependant élevées*** en raison de l'existence du chemin communal en prolongation de la rue Frédéric Bastian, d'une propriété bâtie en périphérie et surtout de bâtiments d'habitation et d'un établissement commercial en contrebas du chemin alors qu'il n'y a pas de protection spécifique.

Ce ***mouvement de terrain doit être enrayé rapidement*** sous peine de le voir évoluer et se développer en mobilisant une partie de la pente, ce qui serait alors difficile à maîtriser.

Recommandations

A court terme

- maintenir une **limitation de circulation** notamment en période de pluie ;
- **avertir** les riverains ;
- éventuellement **exercer une surveillance renforcée** si des événements pluvieux importants apparaissaient ;
- **purger les matériaux remaniés** de l'escarpement risquant de s'ébouler, notamment ceux situés sous les deux vieilles souches ;
- **protéger** de la pluie ces matériaux prêts à tomber s'ils doivent rester plusieurs jours sous la pluie.

L'ensemble de ces recommandations formulées le 28 mars 2001 a été exécuté.

A moyen terme *(illustration 14)*

Reconstituer un soutènement soit en mettant en place un ouvrage lourd fondé au rocher, soit en pratiquant un léger terrassement de la tête de talus et en mettant en place des solutions de type ouvrage cellulaire. Ce soutènement devra aussi comporter un nombre de drains suffisant.

Drainer les terrains dans les pentes à l'amont de l'éboulement en pratiquant des rigoles de façon à rejeter les eaux hors de la zone sensible.

Couper les arbres à grosse souche et **réimplanter la végétation** sur les terrains remaniés.

Aucun de ces travaux n'a été entrepris jusqu'à présent. Ceci explique la demande de visite complémentaire du site formulée par la mairie de Wissembourg après exécution des travaux urgents.

2.5.7. Visite du 10 septembre 2001 (*cf.* Montages photos 1 et 2, Photos 6 à 9).

Les ***travaux de purge effectués*** par une entreprise de travaux publics dotée des moyens d'enlèvement adéquats ont nécessité de supprimer la haie de thuyas encore en place le 28 mars 2001. Les deux vieilles souches de la partie nord de l'escarpement qui maintenaient l'équilibre précaire d'un certain nombre de blocs rocheux ont été enlevées de même que les blocs. Cette zone de l'escarpement est maintenant à peu près stabilisée.

La purge a aussi permis ***l'enlèvement des blocs relativement gros[14] en suspens vers le haut et le centre*** de l'escarpement (*cf.* **Montage photo 1**). Mais dans cette dernière zone subsistent des blocs en équilibre assez précaire (*cf.* **Photos 8** et **9**). De plus, après plusieurs jours de pluies se produit à cet endroit une venue d'eau qui ne peut qu'accentuer l'instabilité des blocs rocheux.

Au sommet de l'escarpement en front de talus ***le recouvrement végétal en suspens a commencé à s'effondrer*** (comparaison des **photos 2** et **8**). Il n'est actuellement pas stabilisé. Si ce phénomène s'amplifie à la faveur de pluies abondantes sur une période de temps notable la stabilité des terrains sous-jacents (au-dessus du mur de soutènement actuel et de la maison de M. Pfister) serait mise en question et *cette habitation serait menacée* (*cf.* **Photos 6** et **7**).

Le long du chemin[15] prolongeant la rue Frédéric Bastian ***la base de l'escarpement a été consolidée provisoirement*** derrière le muret en éléments préfabriqués de béton par des blocs de grès provenant de la purge de l'escarpement (*cf.* **Montage photo 2**). M. Pfister a rajouté une barrière de bois solidement fixée au muret par des barres de fer en U. Ceci est suffisant dans l'immédiat pour stopper les blocs susceptibles de tomber vers les habitations en contrebas mais ne peut pas aider à stabiliser les zones en équilibre précaire et à y réimplanter de la végétation.

2.5.8. Compléments aux recommandations après la visite du 10 septembre 2001

Les recommandations formulées ci-dessus (*cf.* §6) sont confirmées et sont désormais plutôt à court terme (mis à part la réimplantation de la végétation) avec les précisions ou modifications suivantes :

- **limitation de la circulation** sur le chemin communal aux seuls piétons ou cyclistes (VTT), au moins tant que l'ensemble de l'escarpement n'est pas totalement stabilisé ;
- **exercer une surveillance** si des événements pluvieux importants apparaissaient durant toute la période de stabilisation ;
- le **soutènement à réaliser devrait être de type lourd**, s'appuyant sur la semelle bétonnée actuelle. Il devrait être suffisamment haut pour se raccorder au mur de soutènement existant près de la maison de M. Pfister afin de stopper la chute de petits blocs et permettre la création d'une pente favorisant le redémarrage de la végétation ;
- **mise en place d'un dispositif de type filet de protection** sur affleurements rocheux en bordure de route montagneuse afin de maintenir en place des blocs rocheux plus importants. Ce dispositif devra être solidement ancré en amont du

[14] 1/2 m³ pour l'un d'entre eux

[15] Le petit effondrement de ce chemin signalé à la fin du §4.2. n'a pas encore été réparé.

front de talus. Il apparaît indispensable pour stabiliser au mieux et rapidement les zones actuellement en équilibre instable dans l'escarpement et en front du talus au sommet de l'escarpement ;

- **végétalisation** de l'escarpement.

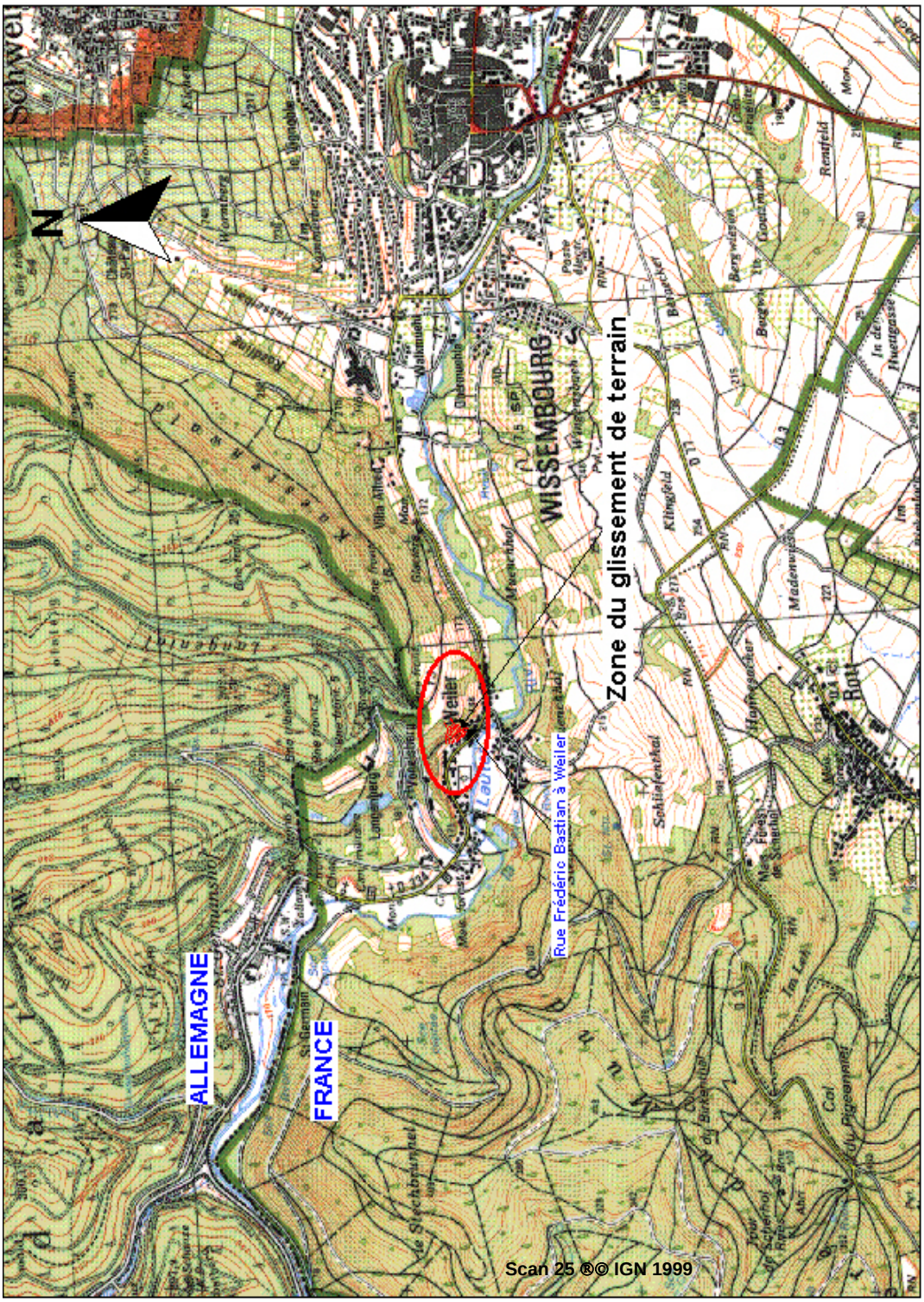


illustration 12 - Carte de localisation du glissement de terrain de Weiler près de Wissembourg (échelle 1/25000)

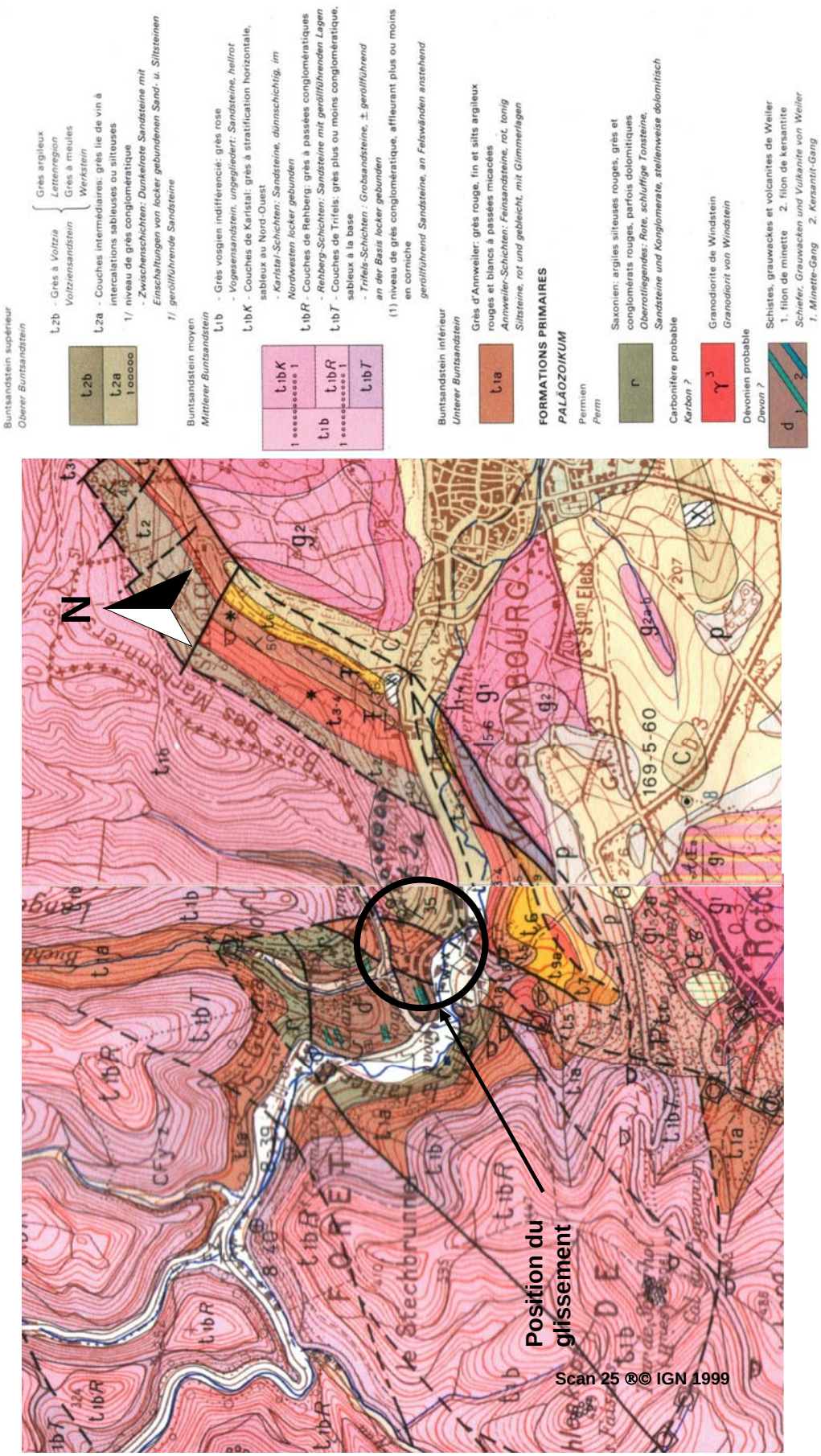


illustration 13 - Contexte géologique de la région du glissement de terrain de Weiler à Wissembourg

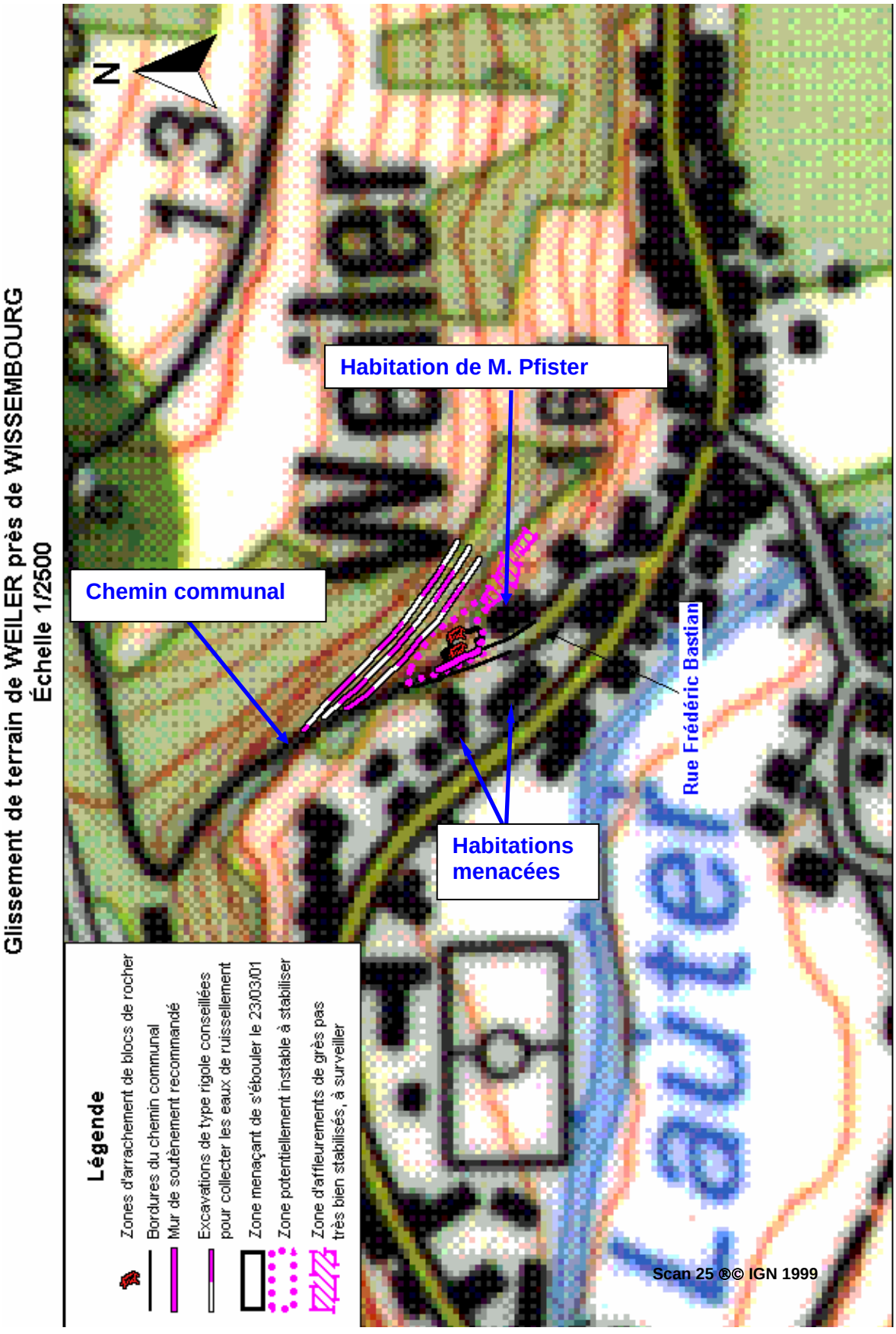


illustration 14 - Plan de détail du glissement de terrain

Photo 1 (23/03/01) **:** La zone du glissement à l'arrière de la maison de M. Pfister. A noter la haie de thuyas encore en place le long du chemin.

Photo 2 (23/03/01) **:** Partie visible du glissement de terrain sur partie gauche de la photo

Photo 3 (23/03/01) **:** Une partie des blocs tombés sur le chemin prolongeant la rue Frédéric Bastian

Photo 4 (23/03/01) **:** Suintement de l'eau en excès au niveau des joints entre blocs de béton du muret, en l'absence de drains

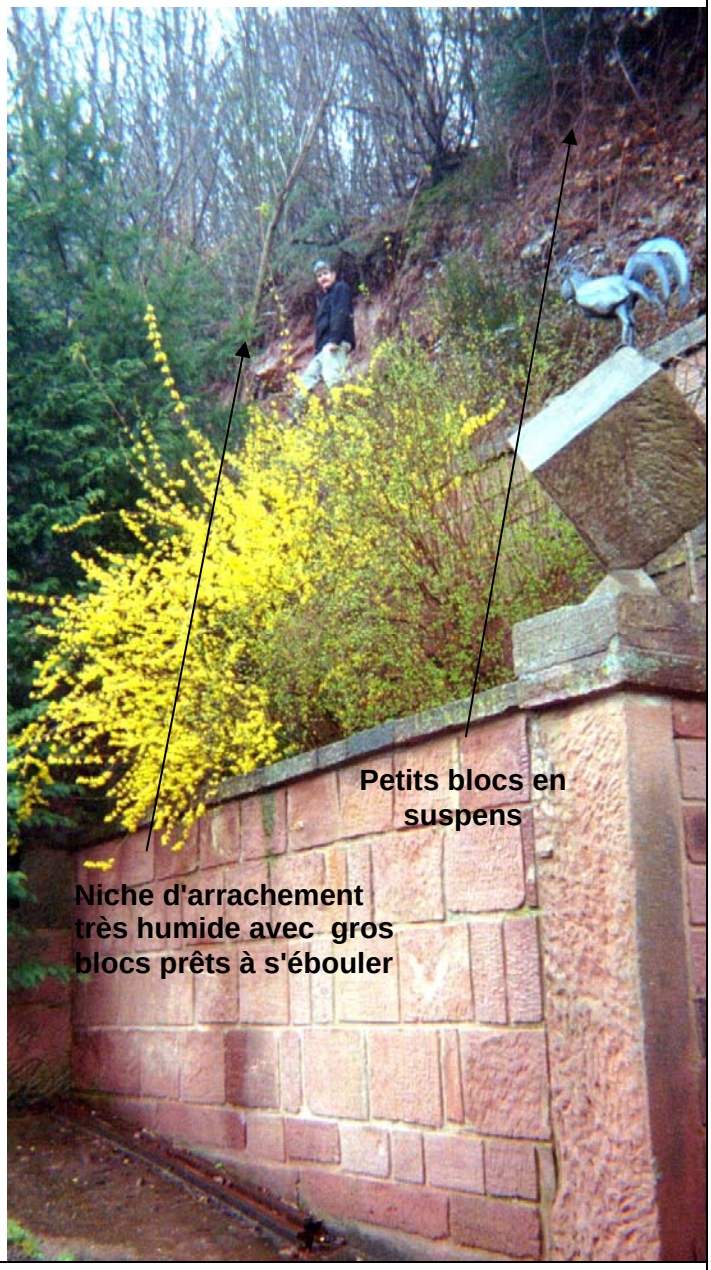


Photo 5 (23/03/01) **:** Escarpement avec des blocs de rocher sur le dessus de l'affleurement, emballés dans du matériel argileux gorgé d'eau, prêts à s'écrouler

Montage photo 1 (10/09/01) : Vue détaillée de la zone éboulée après travaux de déblaiement des blocs en suspens (purge) La partie gauche de la zone, au nord de l'escarpement, est stabilisée. Plus à droite et vers le haut de la zone il y a risque de chute de blocs plus ou moins gros et d'éboulement du recouvrement végétal en front de talus au sommet de l'escarpement.

Montage photo 2 (10/09/01) : La zone éboulée en bordure du chemin vue vers la gauche après travaux de purge et consolidation à la base par le propriétaire. Les thuyas ont été supprimés pour permettre la purge (distorsion montage seulement sur le bas des photos)

Partie d'escarpement qui pourrait s'effondrer en menaçant la maison au-dessous si la zone fragile figurant sur le reste de la photo 6 n'est pas stabilisée.

Photo 6 (10/09/01) **:** La partie de zone éboulée vers la droite est plus fragile et nécessite une stabilisation.

Photo 7 (10/09/01) **:** Escarpement maintenu par le mur de soutien.

Photo 8 (10/09/01) **:** Partie supérieure de la zone éboulée avec petits blocs et recouvrement de terre végétale en suspens.

Photo 9 (10/09/01) **:** Instabilité relative de l'ensemble des blocs visibles sur cet agrandissement (empaquetage d'argile, grès fracturés à proximité d'une faille).

2.6. GLISSEMENT DE TERRAIN A WANGENBOURG (67) EN 2001

Référence : Philippe Elsass (2002).

2.6.1. Introduction

A la demande du Centre de traitement d'alerte du Bas-Rhin (CODIS), le BRGM est intervenu pour effectuer un diagnostic et apporter des recommandations sur un glissement de terrain survenu le 28/12/2001 sur un terrain communal bordant la propriété du 6, impasse des Sapins à Wangenbourg. Le vendredi 28/12 une première visite en fin de journée par mauvaise visibilité a permis de faire une première évaluation et de donner des recommandations d'urgence en accord avec les services de secours ; le samedi 29/12 une deuxième visite de contrôle a été faite dans de meilleures conditions pour étayer les premières observations et confirmer le diagnostic.

2.6.2. Localisation

Le site est localisé à 1 km au Sud de l'église de Wangenbourg, entre les lieudits Schneethal et Wolfsthal, sur le flanc ouest d'un vallon orienté du Sud vers le Nord. L'impasse des Sapins monte vers le Nord à partir de la D 218 pour rejoindre un groupe de 3 maisons d'habitation construites à flanc de coteau. D'après la carte géologique, on se situerait là dans les Couches de Saint-Dié permiennes (argilites et grès à ciment dolomitique), juste sous les terrains triasiques composés de grès et d'argilites rouges. Ces terrains sont en fait cachés sous d'épaisses formations de pente argilo-sableuses à blocs de grès, très aquifères (nombreux captages de sources).

2.6.3. Description du site

La propriété du 6, impasse des Sapins se compose de deux maisons du 19ème siècle construites en moellons de grès, et qui ont été réunies vers 1960 en une seule propriété. La maison ouest (côté amont) est orientée suivant un axe Nord-Sud et aurait des fondations sur du grès (affleurement ou gros bloc éboulé ?). La maison est (côté aval) est orientée quant à elle Ouest-Est et son pignon est forme la limite de propriété. Le long de ce pignon passe un chemin appartenant au domaine public et permettant d'accéder à une maison voisine située juste au Nord (*cf.* Schéma illustration 15). Ce chemin était retenu par des murs de soutènement d'une hauteur de 5 mètres environ qui se sont écroulés, entraînant un éboulement des terrains (photo 1).

Le chemin avait à l'origine une largeur de 2 à 3 mètres seulement et était soutenu par un mur en moellons de grès. Il a été élargi par la Commune suite à la demande du propriétaire de la maison voisine et pour cela un second mur de soutènement en grès avait été construit à 3 mètres environ du précédent. Ce nouveau mur s'est effondré le 8 mai 2001, suite au printemps très pluvieux, sans doute par défaut de fondations et/ou drainage insuffisant. D'après la propriétaire, des écoulements d'eau visqueuses indiquaient des fuites d'assainissement (il existe deux regards, un à chaque coin du pignon, par où s'écoulent les eaux de pluie et les eaux usées des deux propriétés).

Suite à ce premier éboulement, l'ancien mur était alors à nouveau apparent. Toujours d'après la propriétaire, la Commune aurait fait faire des études de sols avec sondages par la DDE en juillet, demandé des devis en septembre et lancé une commande en octobre pour refaire le mur et les conduites d'assainissement (en séparant eaux de pluie et eaux usées dans l'objectif d'un tout à l'égout futur). Les premiers travaux ayant montré qu'il fallait modifier les plans initialement prévus, les travaux ont été retardés jusqu'à mi-décembre puis arrêtés par le gel. Seules des fondations en béton armé ont pu être coulées.

Le chemin d'accès qui subsiste sur environ 1 mètre de largeur le long du pignon a été interdit à la circulation par les pompiers (photo 2). Dans la partie sud (photo 3), un reste de mur de soutènement en surplomb est retenu par un madrier. Le terrain mis à nu sur une surface verticale d'environ 2 mètres de hauteur est constitué d'une matrice sablo-argileuse brune gorgée d'eau à blocs de grès (probablement un remblai). Des blocs continuent de se détacher de la paroi. Dans la partie nord, le mur de soutènement est visible, les terrains encore en place sont composés d'un matériau sablo-argileux brun fin sans blocs qui pourrait être une formation superficielle en place (photo 4). Là aussi, des pans se détachent encore de la surface d'arrachement.

Au pied de l'éboulement qui s'étend sur 10 mètres de longueur environ, les moellons des murs de soutènement sont arrêtés sur les fers de la nouvelle fondation (photo 5). On observe des écoulements d'eaux propre en divers points (photo 6), ce qui semblerait indiquer des infiltrations d'eaux pluviales ou des fuites des conduites de collecte des eaux pluviales. La conduite d'alimentation de la propriété voisine passe dans les terrains encore en place et est menacée par une rupture due à la décompression des terrains et par le gel si les basses températures se maintiennent.

2.6.4. Conclusions et recommandations

L'éboulement est donc loin d'être stabilisé et la tenue des terrains visibles à l'arrachement est très précaire. Une observation du macadam du chemin (*cf.* photo 1) surplombant l'éboulement montre qu'il s'est décollé d'un centimètre du mur de la maison, indiquant un début de basculement. Dans le bâtiment lui-même aucune fissure n'est visible (ce qui a été constaté par huissier). Le plancher étant bétonné, on ne peut savoir sur quoi reposent les fondations du bâtiment. Si ces fondations ne reposent pas sur un terrain ferme, on peut craindre que la poursuite de l'éboulement ne fasse effondrer le pignon du bâtiment, ce qui devrait se manifester rapidement par des fissurations. La tenue du bâtiment peut dans tous les cas être affectée si l'on ne rétablit pas une butée provisoire dans les plus brefs délais.

La conduite d'alimentation en eau de la propriété voisine risque par ailleurs une rupture, et la poursuite de l'éboulement menace de couper la circulation sur le chemin privé passant en contrebas et permettant l'accès aux propriétés situées plus au Nord.

Il nous paraît donc nécessaire de procéder dans les plus brefs délais à une stabilisation provisoire de l'éboulement, par exemple par apport d'enrochement, tout en veillant à détourner les évacuations d'eau, ceci dans l'attente de pouvoir procéder aux travaux de confortement définitifs tels que prévus au départ.

Tant que ces travaux de soutènement provisoires n'auront pas été réalisés et que les conditions climatiques seront aussi peu favorables (gel, pluviosité), il faudra respecter l'interdiction d'occuper le bâtiment de nuit prononcée par les Services de secours.

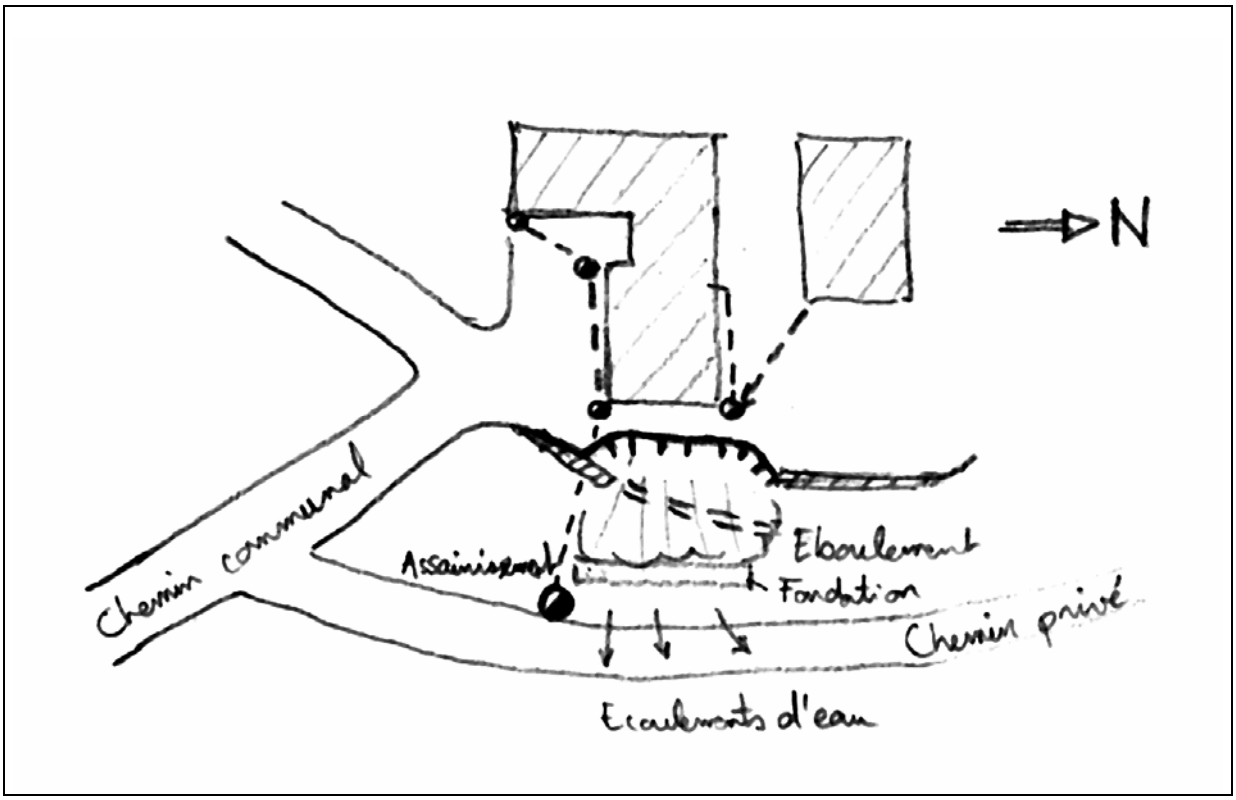


illustration 15 - Schéma de localisation de l'éboulement

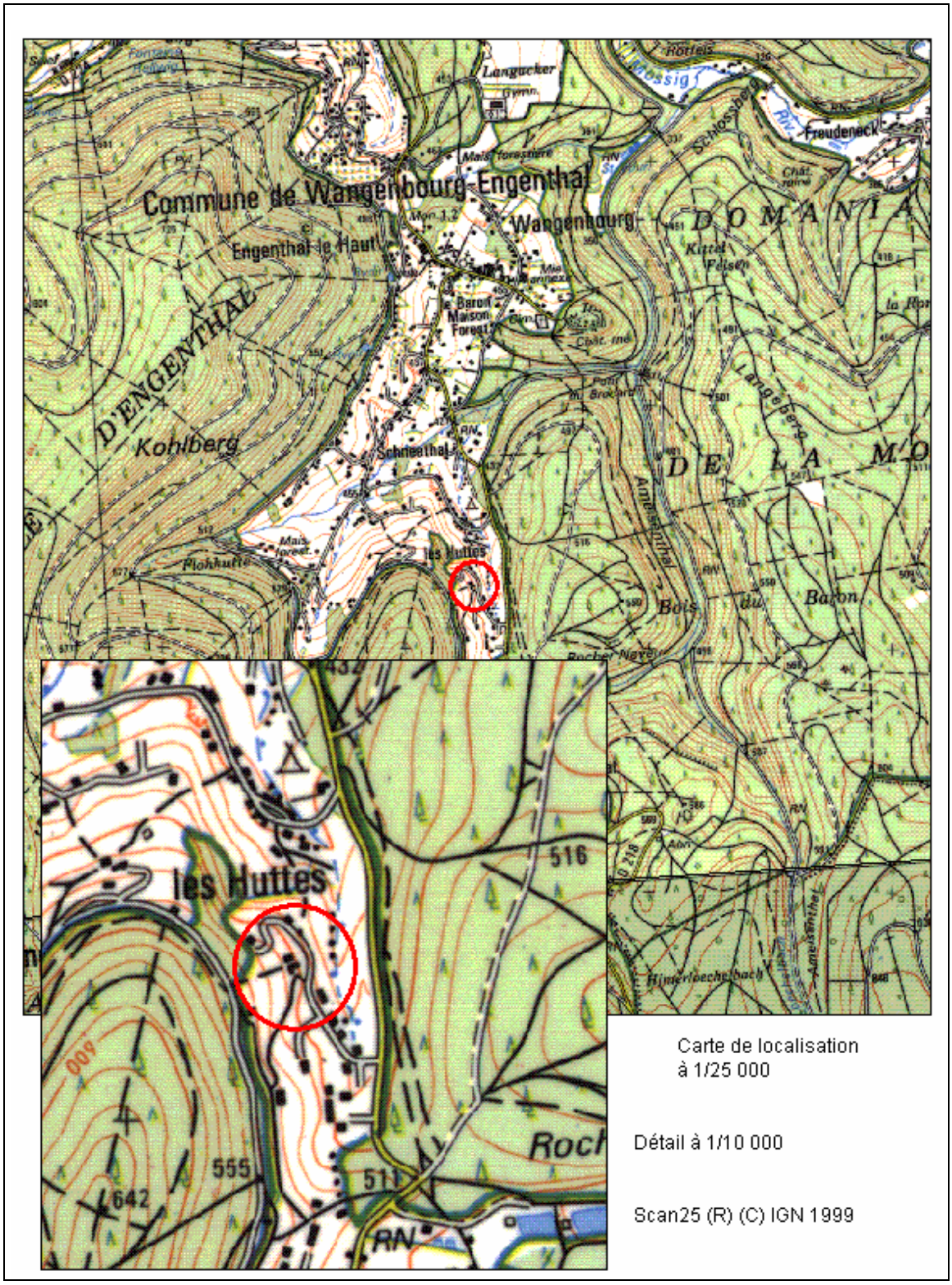


illustration 16 - Carte de localisation

Photo 2 : Chemin éboulé et mise en sécurité

Photo 1 : Vue générale de l'éboulement devant le 6, impasse des Sapins à Wangenbourg

Photo 3 : Détail de l'éboulement (portion sud) avec mur de retenue en surplomb

Photo 4 : Vue vers le Nord de l'éboulement avec mur de retenue en place

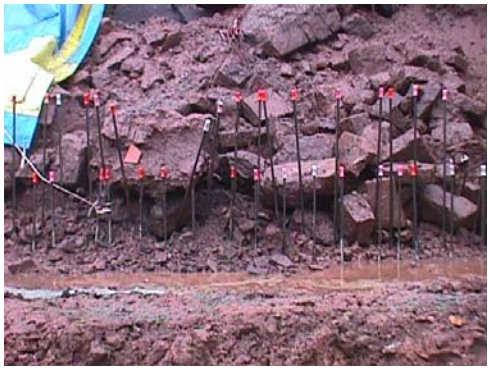


Photo 5 : Moellons du mur éboulés retenus par les fers de fondation

Photo 6 : Un des écoulements d'eau au pied de l'éboulement

2.7. GLISSEMENT DE TERRAIN A WANGENBOURG-ENGENTHAL (67) EN 2004

Référence : Christian Mathon et Davy Cruz Mermy (2004).

2.7.1. Contexte de l'intervention de janvier 2004

Le BRGM est intervenu sur la commune de Wangenbourg-Engenthal dans le cadre de ses missions d'appui aux administrations à la demande de Monsieur le Sous Préfet de Molsheim.

Une première intervention a eu lieu les 14 et 15 janvier 2004, au lendemain du glissement de terrain dans des conditions météorologiques défavorables à l'observation (épaisse couche de neige). Elle a donné lieu à une note commune BRGM-CETE du 16 janvier 2004.

2.7.2. Note technique BRGM-CETE du 16 janvier 2004

Les causes

Les fortes précipitations du mardi 13 janvier associées aux eaux de fonte des neiges ont entraîné une sursaturation des formations superficielles recouvrant les Grès vosgiens. Face à la forte pente (de l'ordre de 50°) du Schneeberg, ces formations superficielles[16] se sont déstabilisées sous l'action de la gravité, sans qu'aucun arbre ou replat morphologique n'ait pu les retenir. La zone affectée par cette déstabilisation est large d'une cinquantaine de mètres et longue de 150 à 200 m. La profondeur de l'arrachement est d'environ 2 mètres en moyenne, ce qui représente près de 18000 m^3.

Les phénomènes

Après avoir glissé le long de la pente (illustration 17), le mélange de boue et de blocs s'est rapidement arrêté sur un replat, coupant le chemin de l'Umwurf et déviant le ruisseau provenant de la source du Schneeberg. La masse en mouvement a charrié de nombreux arbres de taille imposante et des blocs de plus de 3 mètres. L'épaisseur des dépôts du glissement atteint localement près de 5 mètres et diminue jusqu'à 1 ou 2 m au-delà de l'accumulation principale (photos 1 à 4).

La libération des eaux contenues dans la masse glissée a entraîné la formation d'une coulée de boue (illustration 17) d'une vingtaine de mètres de large, qui s'est propagée sur plus d'une centaine de mètres. Un torrent violent, chargé de sable et de petits éléments de moins de cinquante centimètres, s'est formé dans l'axe de la masse glissée, entraînant une érosion très importante créant une ravine de 2 à 3 m de

[16] un mélange de blocs de grès mêlés dans une matrice sablo limoneuse issues de l'altération des Grès vosgiens.

profondeur (photos 2 et 3). Le volume et le débit de ce torrent, dépassant largement les capacités absorbantes du sol, lui ont permis d'atteindre les premières habitations en empruntant les vallons « secs ».

Lors de la visite du 14 janvier au soir, le débit du torrent était important au droit du glissement. En outre, l'écoulement d'eau atteignait le fossé amont de la route du panorama.

Au moment de notre visite commune du 15 janvier, les écoulements étaient de faible ampleur et s'infiltraient très rapidement dans le sol jusqu'à disparaître entièrement à une cinquantaine de mètres au-dessus de la route du panorama. Il apparaît que la morphologie du site, la nature des sols et son caractère forestier ont joué un rôle sécurisant très important. Les replats morphologiques ont accéléré l'étalement des dépôts et leur arrêt. Les sols forestiers et la nature chaotique et poreuse du sous-sol ont favorisé l'infiltration d'une partie des eaux et ont cassé une part importante de l'énergie du torrent.

Mesures à court et moyen terme

Le glissement du 13 janvier 2003 ne présente actuellement pas de danger immédiat pour le village.

On peut cependant s'attendre à d'autres glissement du même type dans des conditions similaires à savoir, lors de forts orages après une période sèche ou au moment de la fonte des neiges. Les secteurs les plus vulnérables restent les têtes de vallon à forte pente et leurs voisinages. Pour cette raison nous recommandons de surveiller régulièrement avec une fréquence si possible journalière les abords de la zone d'arrachement, par un simple examen visuel dans un premier temps. Par la suite, les flancs instables devront être équipés de repères adéquats et un suivi topographique devra être engagé.

Les mesures d'urgence sont évidemment l'interdiction de passage dans la zone de l'effondrement, déjà appliquée par l'ONF. Le chemin d'Umwurf doit rester fermé jusqu'au printemps et celui de la Flohutt ne nécessite pas d'interdiction particulière. Il conviendra également de vérifier visuellement que ne se créent pas des retenues d'eau dans le glissement, pouvant entraîner de nouvelles coulées de boue.

Mesures à long terme

A moins d'un évènement de très grande ampleur (au moins trois fois plus grand que celui-ci), le village n'a rien à craindre d'un éboulement ou d'un glissement provenant de cette partie du Schneeberg. En revanche des coulées de boues ou des laves torrentielles pourraient atteindre les zones d'habitation à proximité des vallons secs. L'ampleur et la survenue de tels phénomènes futurs ne sont absolument pas prévisibles et imposent une surveillance et une vigilance importante à l'approche des périodes à risque.

On notera que les matériaux présents sur l'ensemble de la commune sont issus de l'altération des Grès vosgiens. En cas de sursaturation ces formations hétérogènes se liquéfient et forment des glissement de terrain et des coulées de boues.

Il est important de garantir le libre passage de l'eau lors d'évènements pluviométriques majeurs. Les terrassements réalisés dans les vallons secs lors de travaux d'aménagement peuvent faire entrave aux crues passagères et avoir des conséquences néfastes sur les constructions voisines.

Remarques complémentaires

On signalera également la présence de blocs instables au-dessus de la source du Schneeberg, présentant un risque important pour les utilisateurs du GR. Etant donné l'accessibilité et l'activité touristique au Schneeberg, il est conseillé de repousser le GR au niveau de la crête et non sous la falaise instable de la source.

D'autre part en amont de la zone d'arrachement, à une dizaine de mètres en dessous de l'abri du Schneeberg, des indices d'instabilité ont été notés. Il s'agissait d'arbres couchés, phénomène généralement lié à un fluage des sols. Cette observation est appuyée par les indices et les témoignages de glissement de terrains au niveau de la source du Schneeberg où la pente et les résurgences sont importantes.

Le talus naturel sous l'abri devra également être surveillé. Si ces mouvements s'intensifient, il conviendra d'adopter des mesures adaptées en concertation avec les différents services (ONF-RTM, LRPC et BRGM).

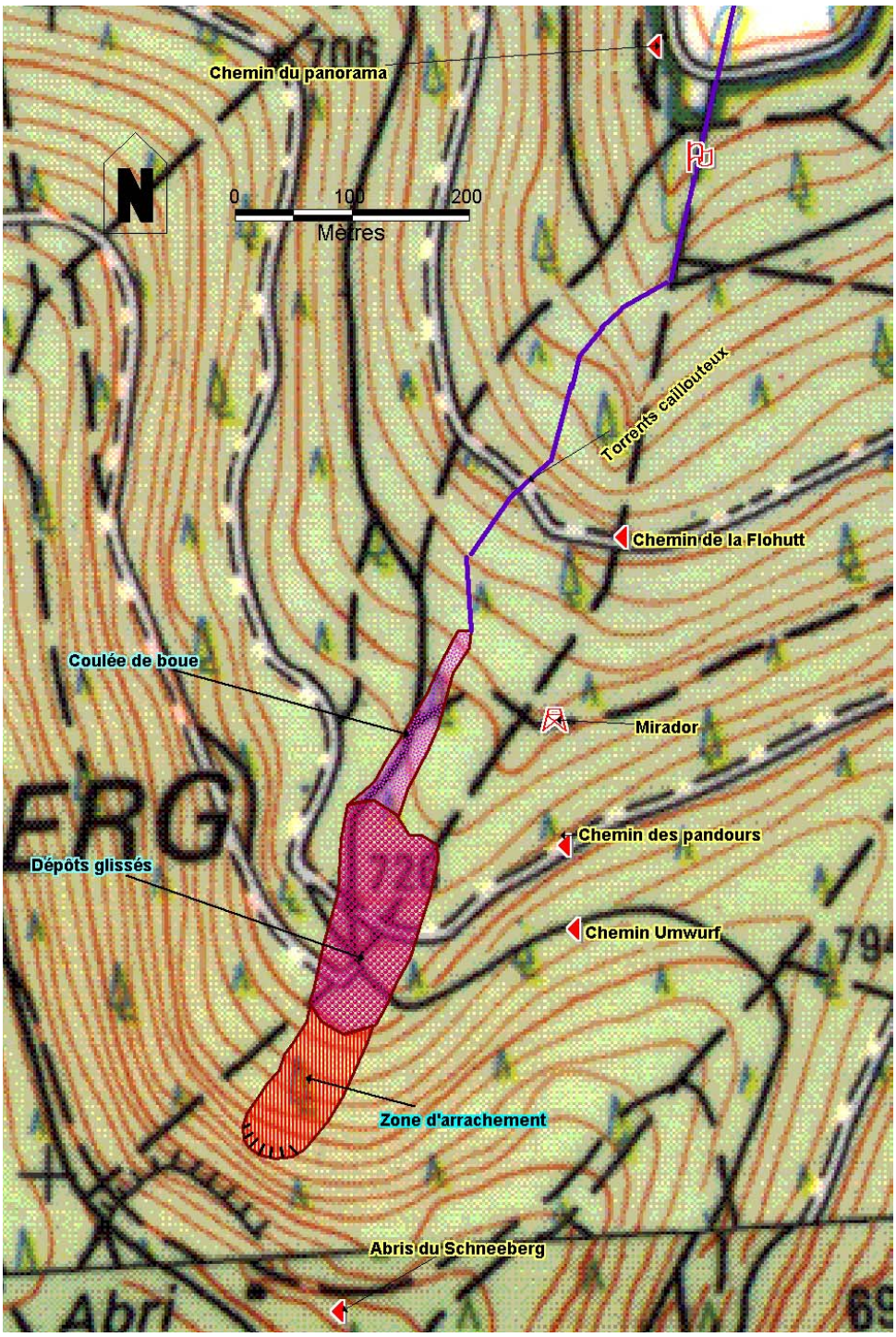


illustration 17 - Carte détaillée du glissement de terrain sur la commune de Wangenbourg-Engenthal

Photo 1 : Vue générale du glissement de terrain, en arrière plan la zone d'arrachement et au premier plan l'accumulation maximale du glissement. La personne se situe dans l'axe du torrent qui ravina les dépôts juste après l'événement.

Photo 2 : Partie médiane des dépôts issus du glissement, les personnes se situent dans l'axe du torrent érosif. A cet endroit, les dépôts se sont accumulés sur plus de 3 m d'épaisseur.

Photo 3 : Partie terminale de la coulée de boue dont on peut noter l'épaisseur des dépôts latéraux. Les personnes se trouvent dans l'axe du torrent qui creusa les dépôts de la coulée boueuse**.**

Photo 4 : Dépôts de blocs charriés et abandonnés par le torrent.

2.7.3. Déroulement de la visite d'avril 2004

Conformément à la réunion de travail du 25 février en Sous-Préfecture de Molsheim, l'objet de la visite du 20 avril 2004 était de compléter le diagnostic du BRGM et du CETE[17] dans un premier temps en profitant de la fonte des neiges, puis d'établir une réflexion sur la possibilité et les conditions du rétablissement du chemin d'Umwurf, coupé lors de l'événement du 13 janvier 2004.

Après avoir rencontré Monsieur Walter, maire délégué de Wangenbourg-Engenthal, nous avons été véhiculés jusqu'à l'abri du Schneeberg par les pompiers de la commune. Le glissement et son site ont été réexaminés en compagnie de Messieurs Dahlent et Weiss de l'ONF, l'objet de cette nouvelle visite étant essentiellement de se prononcer sur le devenir de la piste forestière dite « chemin d'Umwurf ».

L'absence de neige et un temps relativement sec nous ont permis d'examiner les terrains situés à l'amont du glissement, ainsi que ce dernier dans sa totalité.

2.7.4. Synthèse des observations

Globalement, l'explication du phénomène et la description qui en a été faite immédiatement après sa manifestation sont tout à fait conformes à la compréhension et la vision que l'on en a 3 mois plus tard.

Dans le détail, la largeur de la zone d'arrachement n'excède pas 30 m mais sa profondeur moyenne est bien d'environ 2 m, soit un volume mobilisé d'environ 11000 m^3 synonyme d'éboulement en masse de gravité majeure.

Au niveau de l'escarpement sommital, l'amplitude du décrochement atteint 2,5 m et la pente du terrain avant rupture était de 35°. Cette partie sommitale se distingue nettement du corps du glissement dans la mesure où, sur 30 à 40 m de long, elle prend la forme d'une véritable loupe de glissement dont le pied est marqué par une rupture de pente au-delà de laquelle la surface du glissement devient sensiblement plane. On remarque par ailleurs que les débordements latéraux de la masse en mouvement, foisonnée, ne débutent qu'à l'aval de cette rupture de pente, de même que les projections d'eau boueuse chargée de pierres attestées par les marques que l'on observe encore sur quelques pins situés en bordure immédiate du glissement, côté ouest. Ces projections, ainsi que l'intense fragmentation de la masse éboulée -même si l'on y dénombre quelques très gros blocs de 3 à 4 m^3- témoignent de la brutalité du phénomène et de l'état de saturation des formations superficielles lorsqu'il s'est déclenché. Il n'est pas exclu que la nappe présente dans les grès ait pu être partiellement en charge. Cette nappe continuait de s'écouler à très faible débit sur la surface de glissement, observable localement, mais disparaissait sous la zone de dépôt. Cette dernière débute effectivement comme supposé lors de la première visite, quelques dizaines de mètres en amont du « chemin d'Umwurf », et l'on remarque que

[17] Courrier du 16 janvier 2004

la terre végétale est toujours présente en surface ce qui indique que la masse s'est déplacée de manière quasi monolithique et continue.

L'amont de la zone d'arrachement, que nous avons pu parcourir jusqu'à la rupture de pente qui la domine, montre maintenant que la neige a fondu des indices d'instabilité tangibles autre que des arbres couchés ou au tronc dévié. Il s'agit de multiples décrochements décimétriques à pluri-décimétriques soulignés par des épanchements terreux saturés et/ou des résurgences. De même, cette zone est le siège de nombreux glissements de terrains anciens de petite taille, dont les cicatrices sont clairement identifiées.

Latéralement au glissement, au-dessus de la source du Schneeberg et du GR, la barre rocheuse qui couronne la tête du talweg est très fracturée. Les bancs de grès montrent des décalages verticaux d'un bloc à l'autre, ce qui indiquerait la présence d'une faille dans le talweg. Les diaclases, dont certaines ouvertures sont pluri-centimétriques, délimitent des blocs pouvant atteindre 2 à 3 m^3. À leur base nous avons noté la présence d'un niveau de grès dont l'état d'altération est tel qu'il gomme le diaclasage. L'effritement de cette base rend instables les blocs sus-jacents, dont certains ont déjà subi des déplacements mais tiennent par arc-boutement sur les blocs latéraux.

2.7.5. Conclusions

Les mesures préconisées dans la note du 16 janvier dernier restent d'actualité. Les quelques observations complémentaires rendues possibles par la disparition du couvert neigeux ne modifient en rien l'interprétation qui avait été faite du phénomène.

Ainsi, à ce jour cet événement constitue « l'aléa de référence » pour une période centennale sur cette partie du Schneeberg. Un événement semblable n'induit pas de risque fort pour le village qui reste cependant localement - dans le talweg - soumis au risque inondation/coulées de boue. Il convient donc d'être extrêmement vigilant quant au maintien du libre écoulement des eaux de ruissellement, mais également des ruisseaux permanents comme ce n'est plus le cas en partie haute du village où des remblais empiètent sur le lit naturel du ruisseau.

Concernant le glissement, la masse de ses dépôts pourrait être déstabilisée lors de fortes précipitations. En effet les pluies augmentent d'une part la teneur en eau des matériaux et corrélativement réduisent leur cohésion. D'autre part les ruissellements (eaux de pluies et les sources) favorisent les phénomènes d'érosion régressive à l'interface terrain en place/dépôts glissés pouvant générer des coulées de boues secondaires, d'autant plus qu'en amont de la zone de dépôt, il reste sur la surface de glissement jusqu'à 50 cm de grès remanié (blocs et matrice sableuse) qui pourront être remobilisés. Par ailleurs de nouveaux arrachements pourront se produire entre l'abri du Schneeberg et le sommet du glissement.

2.7.6. Recommandations[18]

L'instabilité potentielle du talus situé en aval de l'abri du Schneeberg étant confirmée, des panneaux signalant ce danger doivent être mis en place en crête pour en interdire l'accès. Parallèlement, un dispositif d'auscultation simple –type jalons- peut être envisagé. Sa définition nécessitera de retourner sur le site.

La décision de mettre en place une surveillance instrumentée, même s'il ne s'agit que de jalons, doit être confrontée aux enjeux. En effet, cela peut supposer une logistique relativement lourde en terme de mobilisation de personnels et de matériel en zone montagneuse. Dans tous les cas un consensus est nécessaire quant à l'objectif même de la surveillance en question et au degré de sécurité recherché.

Comme indiqué dans la précédente note, il faudra détourner le GR pour qu'il ne traverse plus le talweg de la source du Schneeberg exposé au chutes de blocs depuis sa corniche rocheuse.

A terme, il faudra envisager de mettre en place un réseau de drainage simple dans les zones très humides, notamment le long du chemin d'accès à l'abri, au abords de l'abri et en tête du ravin sous l'abri, afin de limiter la sursaturation des sols. Ces travaux devront faire l'objet d'une étude topographique préliminaire et d'un dimensionnement particulier.

De même, le pied de la zone de glissement et le chemin devront faire l'objet d'un drainage adapté.

Le « chemin d'Umwurf » reste vulnérable pendant les périodes pluvieuses et durant les hautes eaux de la nappe des grès. S'agissant d'un enjeu faible à moyen dans la mesure où les professionnels ne l'empruntent que de manière très épisodique au cours de l'année, il est envisageable d'autoriser son accès hors des périodes précédemment évoquées, en l'occurrence d'octobre à avril inclus et lors des violents orages. L'accès devra se faire sous réserve d'une inspection visuelle quotidienne de ses abords pendant son ouverture, et au minimum hebdomadaire pendant le mois qui la précède. Il faudra veiller à ce qu'aucun véhicule ne stationne sous la zone du glissement.

La nature des matériaux et la forte probabilité de futurs évènements ne permettent pas de garantir la pérennité du chemin. Vu la forte hétérométrie des matériaux provenant du glissement et leur forte sensibilité à l'eau, il parait préférable de dévier le chemin vers l'aval de la zone principale de dépôts et maintenir cette dernière afin d'amortir tout nouvel événement. En effet le terrassement partiel des dépôts risque d'entraîner des complications en terme de « terrassabilité » et de « praticabilité » du chemin.

Si les gestionnaires du domaine forestier choisissent de conserver le chemin tel qu'il était auparavant, la désobstruction du chemin nécessitera le terrassement des matériaux glissés. Côté amont nous recommandons de les purger jusqu'au terrain

[18] En complément des recommandations de la précédente note qui restent toujours d'actualité.

naturel sous peine de devoir mettre en œuvre des techniques de soutènement et de drainage nécessitant des études préalables peu en rapport avec l'enjeu. Ces terrassements réalisés, il faudra impérativement rétablir le schéma d'écoulement des eaux préexistant. De même, les dépôts devront être gerbés de sorte qu'ils n'entravent pas les écoulements naturels.

Le choix de l'option est à faire par les services de l'ONF connaissant à présent les enjeux et les risques auxquels sont soumis le chemin et les travaux de rétablissement.

illustration 18 - Vue générale du glissement le 24/04/2004 avec au premier plan la zone de dépôt

illustration 19 - Vue générale du glissement le 15/01/2004

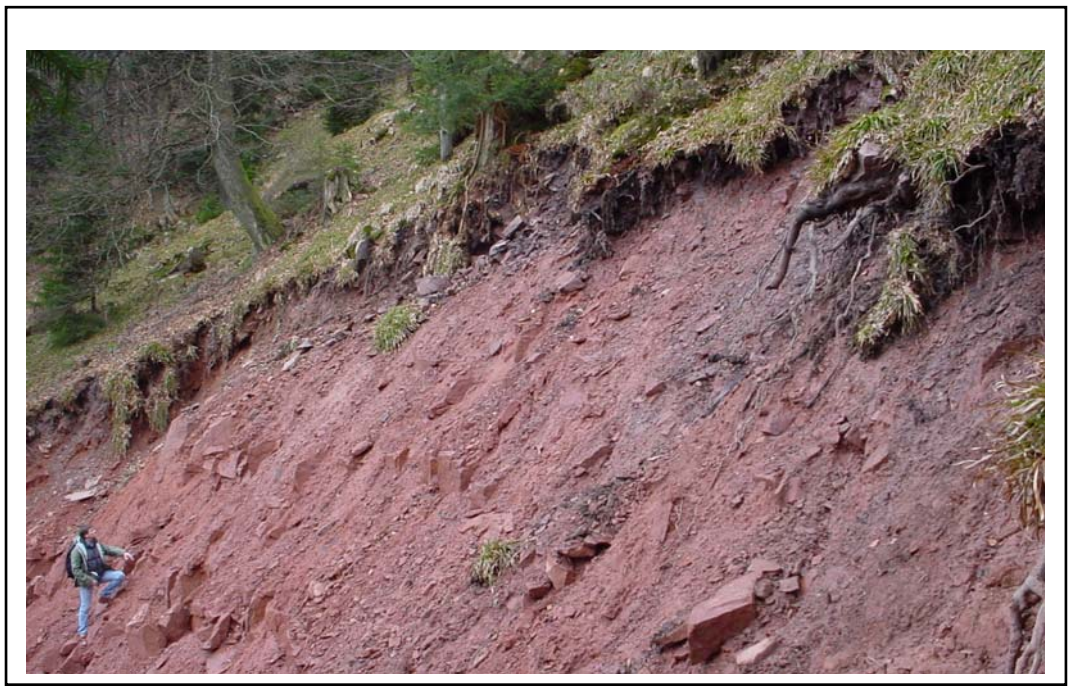


illustration 20 - Décrochement sommital

illustration 21 - Amplitude du glissement en tête (2,5 m à 3 m)

illustration 22 - Gros bloc déplacé

illustration 23 - Projection de boue en aval de la loupe de glissement de tête

(hauteur # 4 m)

illustration 24 - Forte pente et décrochements en aval de l'abri du Schneeberg

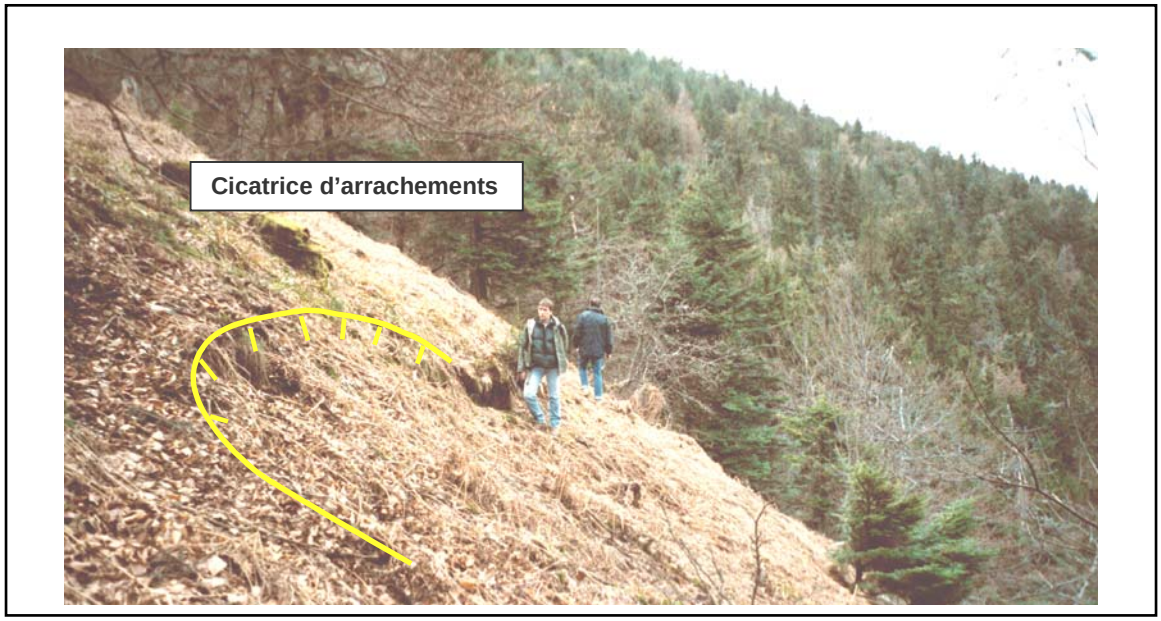


illustration 25 - Forte pente et décrochements à l'ouest de l'abri du Schneeberg

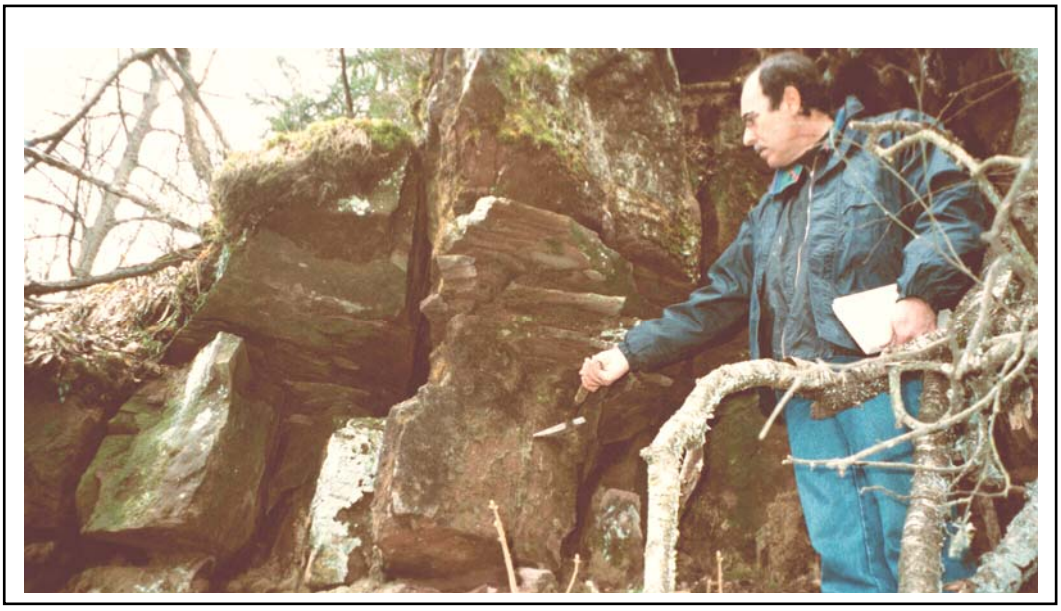


illustration 26 - Corniche rocheuse démantelée au-dessus du GR et de la source du Schneeberg

3. Les coulées de boues et laves torrentielles

3.1. GENERALITES

Les coulées de boue mettent en mouvement de manière rapide une masse de matériaux remaniés, à forte teneur en eau et de consistance plus ou moins visqueuse. Elles peuvent résulter de l'évolution de phénomènes de glissements de terrain.

En contexte de bassin torrentiel aux pentes instables, la mise en contact de matériaux déjà saturés et déstabilisés avec un apport d'eau soudain peut conduire au déclenchement de laves torrentielles, qui progressent très rapidement et emportent tout sur leur passage.

illustration 27 - "Exemple de coulée de boues en région montagneuse" (extrait du site www.bdmvt.net)

En Alsace, les coulées de boue sont fréquentes ces dernières années, mais elles s'apparentent plus à des phénomènes d'érosion catastrophique des sols et d'inondations boueuses lors d'épisodes pluvieux violents. Les communes ayant fait l'objet de notes techniques sur des coulées de boues sont Landser, Steinbrunn-le-Bas, Mulhouse, Brunstatt, Riedisheim, Zimmersheim, Flaxlanden, Rixheim, Schlierbach, Hochstatt, Froeningen, Habsheim, Zillisheim, Didenheim et Steinbrunnen-le-Haut.

3.2. COULEES DE BOUE A LANDSER (68) EN 2001

Référence : André Vial (2001b).

3.2.1. Circonstances de l'intervention du BRGM en date du 30/05/01

A la demande de Mme Lermurier responsable Protection Civile de la préfecture du Haut-Rhin à Colmar (SIDPC de Colmar), le BRGM a été sollicité pour donner un avis technique sur les aspects géologiques des coulées de boue survenues le 24/05/01 sur les communes de Steinbrunn-le-Bas et Landser, cette dernière commune ayant été la plus affectée. A noter que ce phénomène a été classé en « catastrophe naturelle » pour les dégâts occasionnés.

3.2.2. Les faits

Pluviométrie

Orage survenu le 24 mai accompagné de pluies violentes et abondantes avec hauteur d'eau suivantes mesurées :

- à Landser : 9 mm en ¾ d'heure ;
- sur les collines à l'ouest de Landser : 32 mm enregistrés pour cet orage par M. Ketterlin Augustin, agriculteur à Steinbrunn-le-Bas (avec un pluviomètre de type communément utilisé en agriculture).

Les services de la météorologie nationale interrogés indiquent que ces précipitations sont fortes mais pas exceptionnelles.

Zones affectées par des coulées de boue à Landser et à l'ouest de Landser

Les hauteurs de boue ont atteint 60 à 80 cm de hauteur près de l'école située au Nord de la mairie, tout près de l'ancien lit du cours d'eau Ibenbach (canalisé maintenant), 30 à 50 cm de hauteur 300 m plus en aval toujours le long du lit de la rivière Ibenbach (illustration 27)

Les hauteurs de boue diminuent ensuite vite vers l'est mais les traces du passage de la coulée de boue sont notables jusqu'à l'extrémité est de Landser le long du cours d'eau.

Un automobiliste a été secouru par les pompiers sur la route départementale D21 entre Steinbrunn-le-bas et Bruebach, assez près de la chapelle de Ste Apolline, son véhicule ayant été déporté hors de la route par une coulée de boue.

Zone affectée à Steinbrunn-le-Bas

Cette commune a été peu affectée. Nous mentionnons pour mémoire (zone non visitée) un chemin submergé au nord-ouest du village en bordure sud d'une des deux zones d'apport en matériaux boueux (illustration 29).

Zones d'alimentation des coulées de boue

Deux zones principales de venues de boue ont été décelées :

- à l'ouest de Landser et au nord-ouest de Steinbrunn-le-Bas (**Zone A** de l'illustration 30) ;
- au nord-ouest de Landser (**Zone B** de l'illustration 30).

Ces deux zones correspondent à des collines avec des pentes relativement accentuées mais cependant pas très fortes (rien de commun avec une vallée alpine encaissée). 75% environ des surfaces cultivées l'était pour le maïs (*cf.* photo 1 de la planche photographique). Du fait de la plantation tardive de cette culture en raison des pluies abondantes et continues du début de l'année 2001, le sol est à nu dans ces champs. Les champs de blé ou les prairies sont par contre très développés avec une végétation haute de 60 cm approximativement. Les plants de maïs étaient haut de 5 à 15 cm le 30/05/01.

Lorsque la pluie du 25 mai s'est produite le sol des champs de maïs, riche en éléments limoneux, a commencé d'abord à absorber les eaux pluviales. Ceci a eu pour effet de gonfler les parties argileuses du sol et des limons loessiques sous-jacents. La pluie, très forte, s'est alors écoulée sur les pentes emportant les éléments légers du sol. Le ravinement qui en a résulté est particulièrement bien visible lorsque les sillons ont été réalisés dans le sens de la pente (soit à peu près 60% des champs de maïs observés).

⇨ (*cf.* **photo 2, photo 3**)

Les sillons ont été approfondis par l'écoulement de l'eau et ont parfois formé de petites rigoles de 7 cm de large et 4 cm de profondeur.

En bas de pente l'eau chargée de particules fines s'est transformée en une boue liquide qui ici et là a même pu déplacer des pierres (taille maxi = 10x10x10cm environ).

⇨ (*cf.* **photo 4** et agrandissement)

Lorsque le champ de maïs était bordé par un champ de blé parallèle à la pente on peut observer ici et là des parties de blé couché et boueux résultant de la formation locale de coulées de boue en amont. Dans un cas le champ a été suffisamment large pour stopper l'avancée de la coulée et absorber eaux et boue (encore visible le 30 mai 2001).

Des haies d'arbres ont eu le même effet que les champs de blé mais n'ont pu les stopper car leurs largeurs étaient insuffisantes. Dans un cas le rideau d'arbres a

cependant fait barrage. A son amont (*cf.* **photo 5**), la boue s'était déposée et avait séché formant des fentes de dessiccation caractéristiques.

Dans le cas de champs de blé ou de prairies il n'y a pas eu ravinement et transport de matériaux loessiques.

Dans un champ de maïs planté sur un subaffleurement de calcaire oligocène, le ravinement a touché les sillons du champ et les a emportés en partie (avec les plants parfois).

Contexte géologique (illustration 28)

Les zones d'épandage de la coulée de boue correspondent à des alluvions (a^2 sur la carte géologique) aussi bien à Landser qu'à Steinbrunn-le-Bas.

Les zones d'alimentations des coulées boueuses correspondent à des limons loessiques (a^{1l}) et à des loess anciens (a^{1le}) qui recouvrent des calcaires oligocènes (o^{1d} sur la carte) qui subaffleurent ici et là dans les zones où se sont formées les coulées. A noter la présence de quatre sources dans le secteur de la Chapelle Ste Apolline près de la route département D21. Ces sources n'ont eu aucun rôle dans la formation et le déplacement de la coulée boueuse.

3.2.3. Conclusions des observations

Formation des coulées boueuses sur les zones non couvertes de végétation le 25/05/01 (donc avec sol à nu).

Facteurs aggravants de formation de coulées :

- pentes accentuées ,
- présence de subaffleurements calcaires ,
- monoculture ,
- tracé des sillons de plantation dans le sens de la pente (donc non en courbes de niveau).

Facteurs minorants le phénomène :

- présence de champs de blé ou de prairies en alternance avec des champs de maïs ;
- présence de haies ou de rideaux d'arbres en bordure de champ ou en travers de vallée ;
- polyculture (notamment celle induite par des terrains non encore remembrés).

Facteurs favorisants la submersion par la coulée de boue :

- passage en canalisation fermée du ruisseau de l'Ibenbach au niveau de l'école de Landser en dépit du diamètre important de la canalisation (1 m) ;

- rien n'arrête ou ne retarde l'avancée de coulées de boue entre la zone de formation et la commune. La rivière coule dans une vallée (Ibenbach) avec un paysage sans arbres ou bosquets entre la route D21 et le village de Landser ce qui explique que la ferme Klostermuehl a été frappée de plein fouet et mise en danger ;
- il faut noter que la partie de Landser submergée comporte des maisons de plus de 200 ans d'âge, qui n'avaient pas été mises en danger jusqu'à récemment. Une de ces fermes est visiblement « fragile » et n'a pas été conçue en fonction de possibles inondations (ceci tendrait à conforter l'aspect récent du phénomène de submersion).

3.2.4. Recommandations

A court terme, il faut envisager les aménagements suivants :

- **doubler la capacité de passage d'eau au niveau de la commune de Landser**. Il faudra tenir compte du fait que la coulée de boue se charge en débris divers, branches, voire même arbres arrachés au cours de son déplacement, qui peuvent boucher des entrées de canalisations ;
- **créer une zone d'épandage en amont de la commune de Landser** (avant les premières habitations). Il faudra tenir compte que cette zone risque d'être comblée après une coulée de boue si la capacité de rétention est faible.

A plus long terme les mesures suivantes sont indiquées :

- demander aux agriculteurs de placer les sillons de plantation suivant les courbes de niveau dans la mesure où cela est possible ;
- demander une étude approfondie par des spécialistes en géotechnique ayant une expérience des terrains loessiques. Cette étude devra établir ce que les différentes pratiques agricoles peuvent avoir de favorable ou défavorable pour la préservation contre les risques de coulées de boue. Cette étude devra naturellement se faire en concertation avec des ingénieurs en agriculture, des hydrogéologues et les services météorologiques.

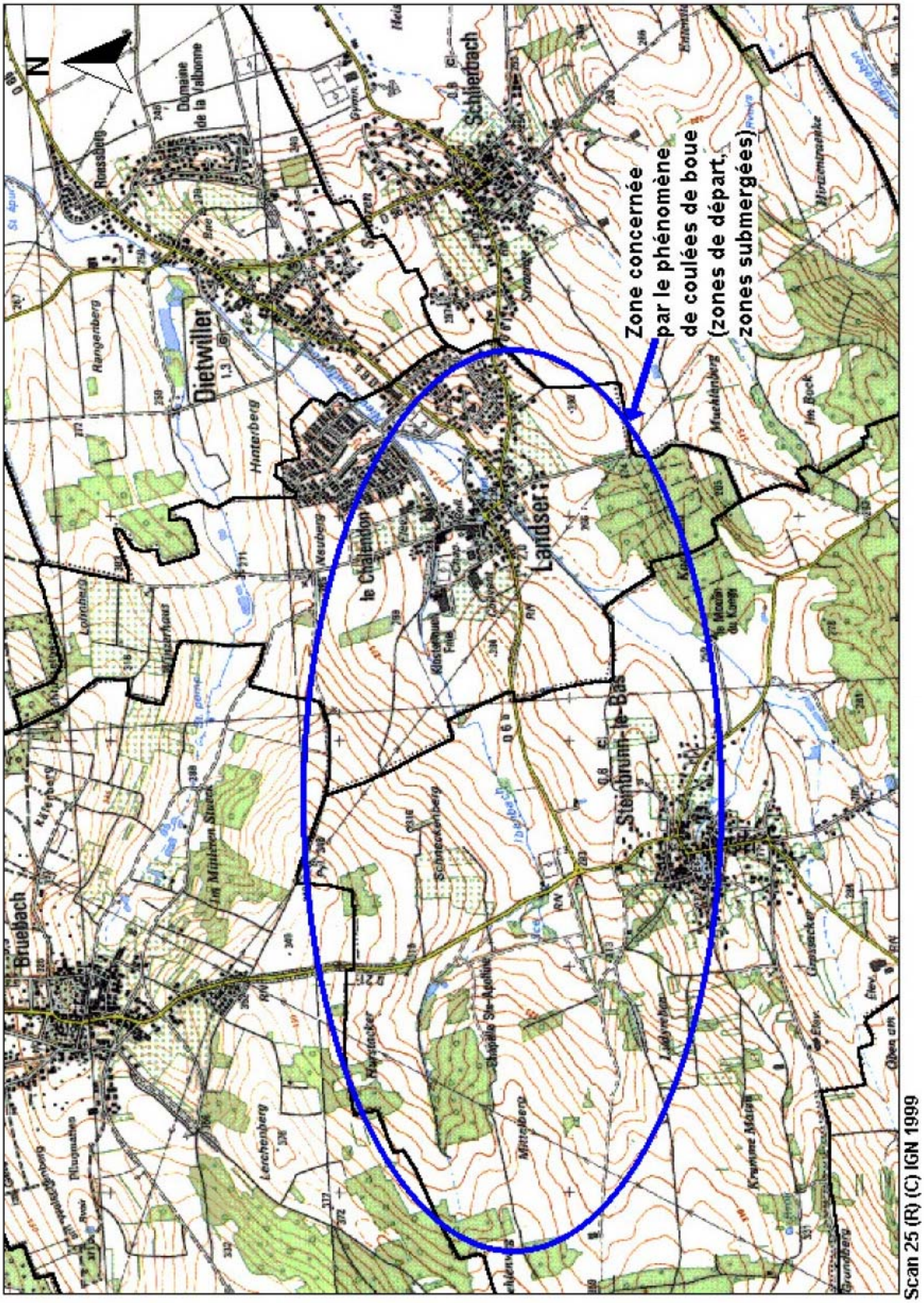


illustration 28 - Coulée de boue de Landser/Steinbrunn-le-Bas : plan de localisation
Echelle : 1/25000

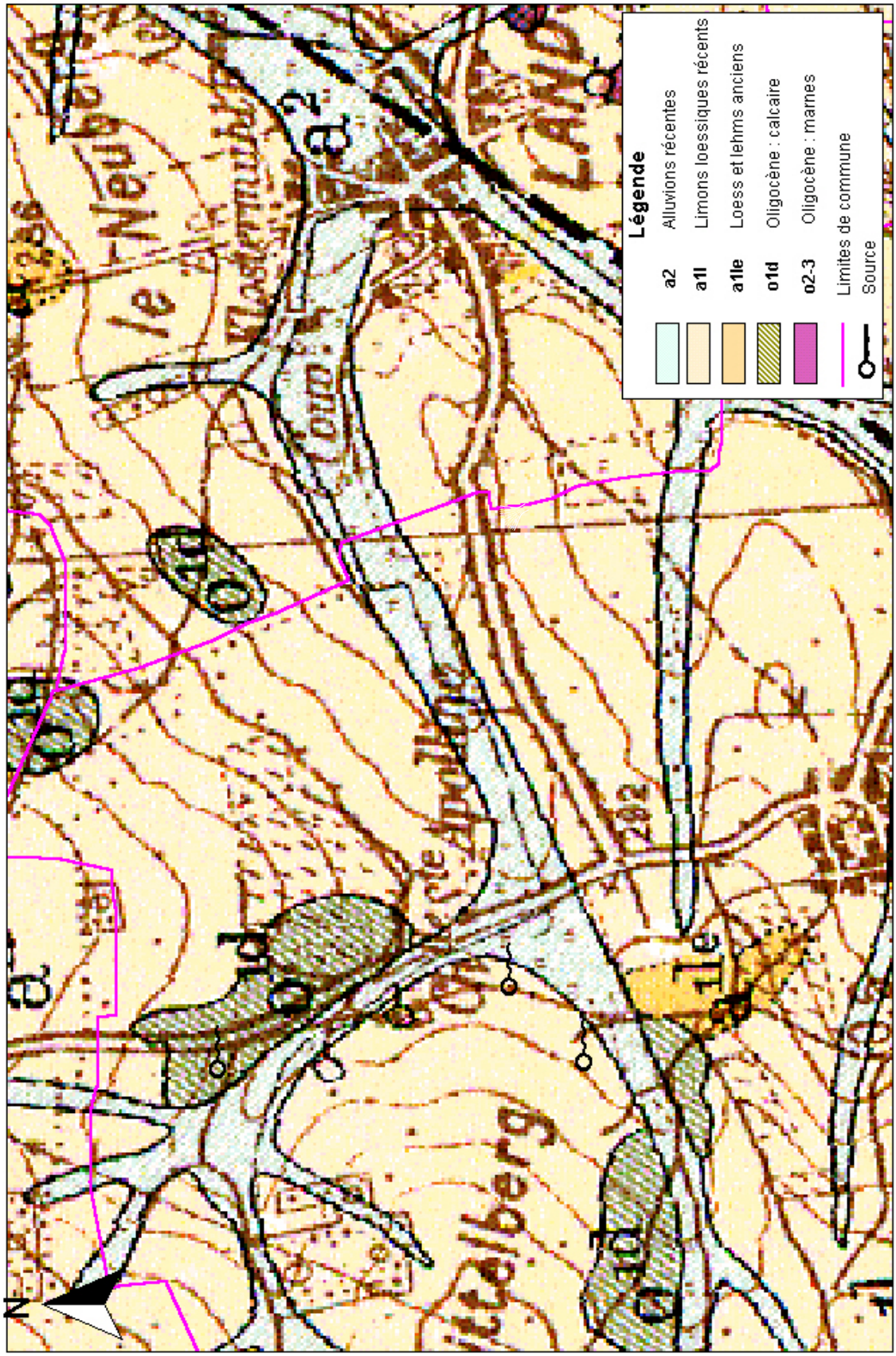


illustration 29 - Contexte géologique – Echelle 1/2500

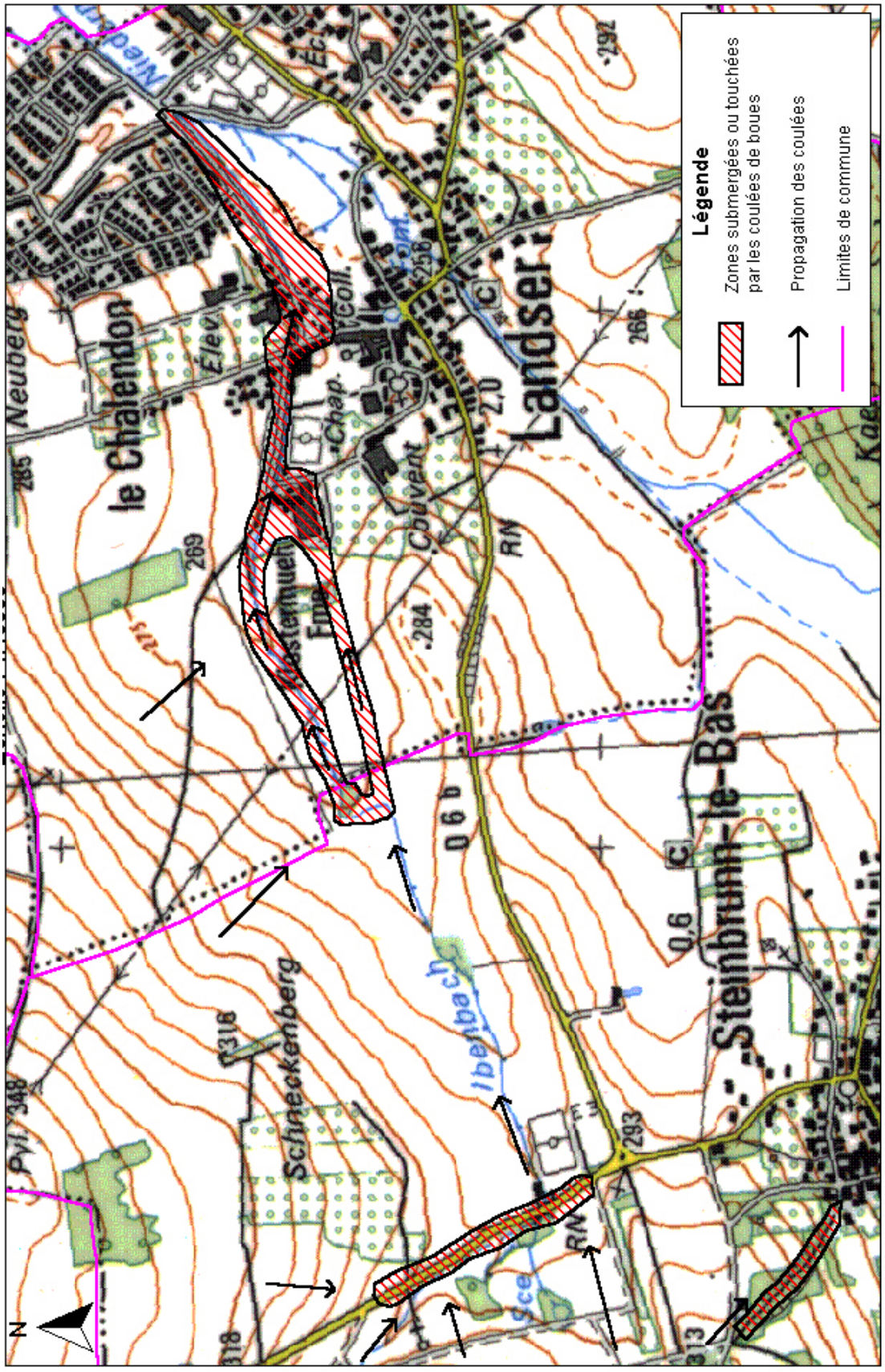


illustration 30 - Coulées de boue de Landser/Steinbrunn-le-Bas : zones submergées ou touchées par des coulées,
échelle 1/10000

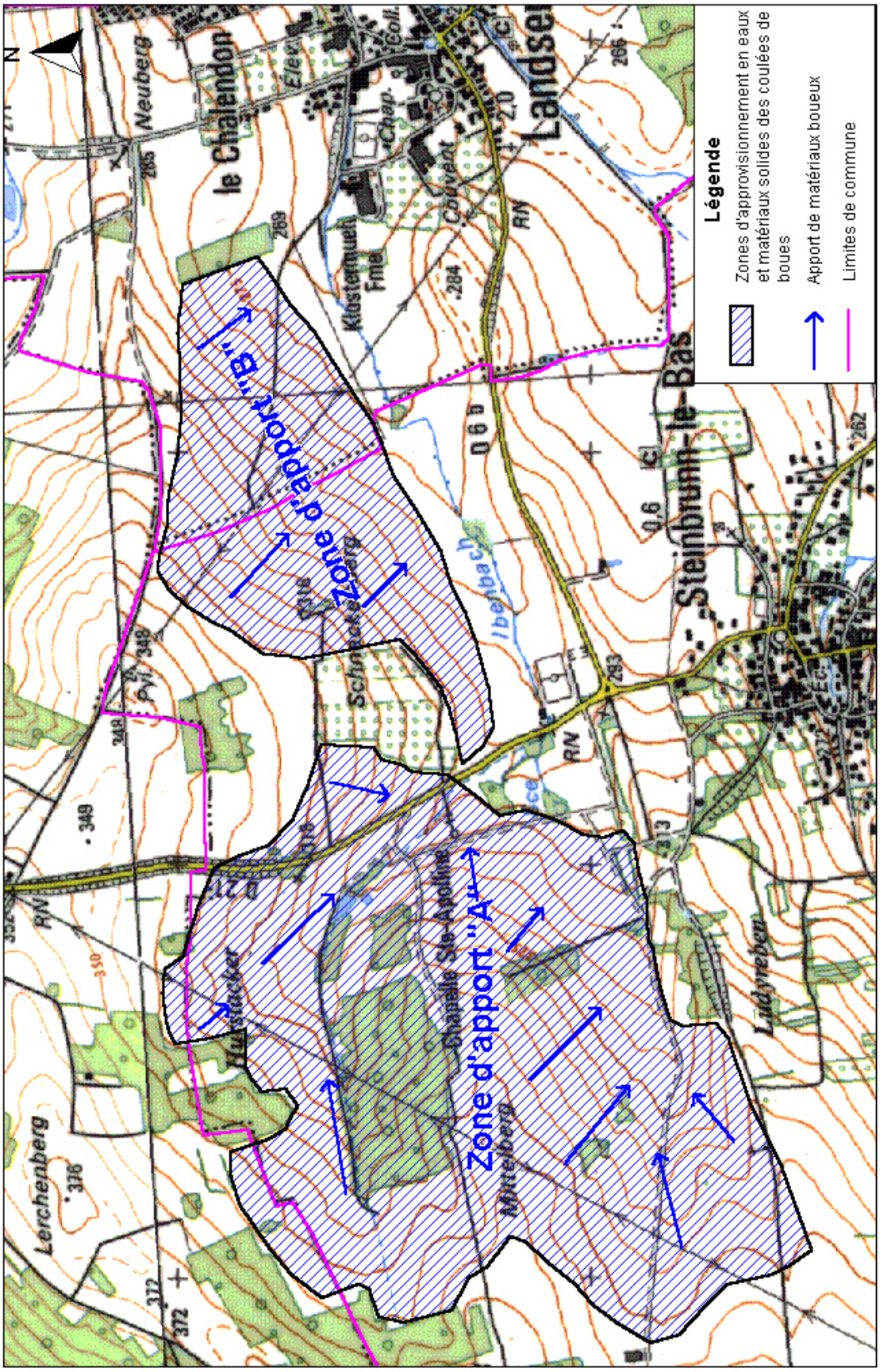


illustration 31 - Zone d'alimentation de la coulée de boue

3.3. COULEES DE BOUE A STEINBRUNN-LE-BAS (68) EN 2001

Référence : André Vial (2002a).

Circonstances de l'intervention du BRGM en date du 30/05/01 et de la présente note au sujet de Steinbrunn-le-Bas

La demande d'intervention provient de Mme Lermurier chargée de l'instruction du dossier CAT.NAT sur les coulées de boue de Landser/Steinbrunn-le-Bas à la Protection Civile de la préfecture du Haut-Rhin à Colmar (SIDPC de Colmar). Il s'agit d'émettre un avis technique sur les aspects géologiques des coulées de boue survenues le 24 mai 2001 dans les communes de Steinbrunn-le-Bas et Landser.

Le but de la visite du 30 mai 2001 était d'établir le diagnostic des causes géologiques du phénomène de coulées de boue et de constater l'intensité et l'extension de l'inondation qui s'est ensuivie à **Landser**.

La présente note porte plus spécifiquement sur la commune voisine de **Steinbrunn-le-Bas,** ce en dépit du fait que le 30 mai 2001 nous n'avions pas visité le village et constaté par nous–même les dégâts occasionnés. **En effet les phénomènes à l'origine des coulées de boue et de l'inondation qui s'en est ensuivie à Steinbrunn-le-Bas sont les mêmes que ceux ayant affecté la commune de Landser**. Pour ce qui est de l'intensité de la submersion et des dégâts causés, nous avons pris en compte **le constat établi par M. Daniel Hassler, maire** de la commune soit : **valeurs de pluviométrie**, **rapport d'intervention** des sapeurs-pompiers de Steinbrunn-le-Bas, **plan** au 1/2000 des zones inondées, **photos de la submersion** par les coulées de boue à Steinbrunn-le-Bas et de ses conséquences figurant en fin de note.

3.3.1. Faits et observations

Pluviométrie.

Un violent orage s'est produit l'après-midi du 24 mai 2001 accompagné de pluies très abondantes.

Le rapport établi par le centre départemental de Météo France (n° 68/01/192 du 08/06/2001) confirme la violence de cet épisode orageux. Il précise que l'intensité de ces précipitations a été maximale au-dessus de la commune de Steinbrunn-le-Bas et de la région immédiatement au Nord-Ouest de Landser entre 15h50 et 16h20 UTC. Les valeurs de hauteur de précipitation "eau" indiquées dans ce rapport pour cette zone ne sont qu'indicatives (10 à 20 mm dans le secteur de pluies maximales et 5 à 10 mm en bordure de ce secteur). Météo-France conclut que le caractère exceptionnel de la précipitation associée à l'épisode orageux ne peut être démontré d'après leurs mesures.

Par ailleurs, localement, les hauteurs d'eau suivantes ont été mesurées :

- à Landser : 9 mm en ¾ d'heure[19].
- **sur les collines à Steinbrunn-le-Bas** : 32 mm (mesure effectuée par M. Ketterlin Augustin, agriculteur, avec un pluviomètre du type communément en usage en agriculture).
- **à Steinbrunn-le-Bas** : 37 et 39 mm pour 30 minutes de précipitation (mesures effectuées avec des pluviomètres respectivement par Mme Schirmer Liliane et M. Odino Antoine).

Ces observations locales sont globalement cohérentes avec les indications de Météo-France à ceci près que les hauteurs d'eau mesurée de 32, 37 et 39 mm au centre de la zone de très forte pluie dépassent de plus de 50% la valeur maximale de 20 mm donnée à titre indicatif dans le rapport Météo-France. Elles attestent de l'intensité exceptionnelle des précipitations ayant provoqué la création des coulées de boues constatées.

Zone affectée par les coulées de boue à Steinbrunn-le-Bas.

Par qualification de "commune peu affectée" citée dans la note BRGM ALS/NT01N22 de mai 2001 nous signifions un nombre d'habitations touché par les coulées de boues moins important à Steinbrunn-le-Bas que dans la commune de Landser. L'inondation due aux coulées de boue y a été en fait tout aussi intense. Un certain nombre de chemins, de routes et de rues a été submergé[20] notamment le long du ruisseau du "Dorfbach" traversant d'Ouest en Est le village (illustration 31). Les habitations atteintes par les coulées sont situées rue de la Fontaine (*cf.* Photos 9 et 10) à l'Ouest du village, rue de l'École, rue de Mulhouse, rue Principale et rue des Orphelins (*cf.* Photos 11, 12, 13 et 14) au centre du village, rue du Château et route départementale n° 21 à l'Est (*cf.* Photos 15 et 16).

Les hauteurs de boue ont atteint 60 à 80 cm près du centre du village rue des Orphelins, tout près du lit du ruisseau Dorfbach (*cf.* **Photos 11** et **12** montrant la situation avant et après évacuation des boues).

Les hauteurs de boues résiduelles ont atteint un maximum de 60 cm d'épaisseur en surface et de plus de 1,0 m dans certaines caves.

Un automobiliste a dû être secouru par les pompiers sur la route départementale D21 entre Steinbrunn-le-Bas et Bruebach, assez près de la chapelle de Ste Apolline, son véhicule ayant été déporté hors de la route par une coulée de boue.

---

[19] Indications de M. Haeflinger, responsable des Services Techniques de la commune de Landser

[20] Et donc pas seulement le chemin submergé que nous avions observé au Nord-Ouest du village en bordure sud d'une des deux zones principales d'apport en matériaux boueux tel que mentionné dans la note ALS/NT01N22.

Zones d'alimentation des coulées de boue.

Deux zones principales de venues de boue ont été décelées :

- à l'Ouest de Landser et au Nord-Ouest de Steinbrunn-le-Bas (**Zone "A"** de l'illustration 30), zone examinée en détail lors de la visite ;
- au Nord-Ouest de Landser (**Zone "B"** de l'illustration 30), zone examinée rapidement dans sa partie haute.

Deux zones moins importantes de venues de boue situées immédiatement au Nord-Ouest et au Nord-Est du village de Steinbrunn-le-Bas, non observées lors de la visite, sont déduites du constat effectué par le maire de Steinbrunn-le-Bas (illustration 30).

Toutes ces zones correspondent à des collines avec des pentes relativement accentuées mais cependant pas très fortes (de l'ordre de 5 à 12 %). Environ 75 % des surfaces ensemencées l'était pour le maïs (*cf.* **photo 1** des planches photographiques, la **photo 6b** donnant une idée de l'ensemencement en 1999 si l'on accepte que les parcelles de teinte blanche correspondent à des champs de maïs[21]). Du fait de la plantation tardive de cette culture[22], le sol était à nu dans ces champs le 24/05/2001. Les champs de blé ou les prairies étaient par contre très développés avec une végétation haute de 50 à 60 cm approximativement. En comparaison, le 30/05/01 les plants de maïs étaient haut de 5 à 15 cm.

Lorsque la pluie du 24 mai s'est produite le sol des champs de maïs, riche en éléments limoneux, a commencé d'abord à absorber les eaux pluviales. Ceci a eu pour effet de gonfler les parties argileuses du sol et des limons loessiques sous-jacents. La pluie, très forte, s'est alors écoulée sur les pentes emportant les éléments légers du sol. Un ravinement superficiel en a résulté. Celui-ci est parfois bien visible, entre autres lorsque les sillons réalisés dans le sens de la pente[23] ont subi un surcreusement (*cf.* **photos 2, 3** et **8**). Les sillons ont alors été approfondis par l'écoulement de l'eau et ont parfois formé de petites rigoles de 7 cm de large sur 4 cm de profondeur.

En bas de pente l'eau chargée de particules fines s'est transformée en une boue liquide qui ici et là a même pu déplacer des pierres (taille maxi = 10x10x10cm environ). Une partie de cette boue s'est déposée en bas de pente (*cf.* **photos 3**, **4**, **5** et **8**). Une partie plus importante a formé des coulées de boue qui ont poursuivi leur progression vers l'Est ou le Sud sur les pentes et en fond de vallon.

Lorsque le champ de maïs était bordé par un champ de blé perpendiculaire à la pente on peut observer ici et là des parties de blé couché et boueux résultant de la formation

---

[21] Ce qui était le cas fin mai 2001 pour la plupart de ces parcelles apparaissant en blanc sur la photo aérienne.

[22] En raison des pluies abondantes et continues du début de l'année 2001

[23] Ce qui est le cas de près de 60% des champs de maïs observés

locale de coulées de boue en amont. Dans un cas le champ a été suffisamment large pour stopper l'avancée de la coulée et absorber eaux et boue (encore visible le 30 mai 2001, *cf.* **photo 5** et **photo 5 agrandie**).

Des haies d'arbres ont eu le même effet que les champs de blé mais n'ont pu stopper la progression de ces coulées car leur largeur était insuffisante. Dans un cas le rideau d'arbres a cependant ralenti leur avance en formant un barrage tout relatif. A son amont (*cf.* **photo 4**), une quantité assez importante de boue s'était déposée et avait séché, créant des figures de dessiccation caractéristiques.

Dans le cas de champs de blé ou de prairies il n'y a eu aucun ravinement et transport de matériaux loessiques.

Dans un champ de maïs planté sur un sub-affleurement de calcaire oligocène, le ravinement a emporté en partie les sillons du champ (parfois même les plants, *cf.* **photo 7**).

Contexte géologique (illustration 28)

Les zones d'épandage de la coulée de boue correspondent à des alluvions (**a^2** sur la carte géologique) aussi bien à Landser qu'à Steinbrunn-le-Bas.

Les zones d'alimentations des coulées boueuses correspondent à des limons loessiques (**a^{1l}**) et à des loess anciens (**a^{1le}**) qui recouvrent des calcaires oligocènes (**o^{1d}** sur la carte) qui sub-affleurent ici et là dans les zones où se sont formées les coulées. A noter la présence de quatre sources dans le secteur de la Chapelle Ste Apolline près de la route départementale D21. Ces sources n'ont eu aucun rôle dans la formation et le déplacement des coulées boueuses.

Conclusions des observations

La cause principale du phénomène de coulées boueuses constaté à Landser / Steinbrunn-le-Bas est bien sûr **l'épisode orageux du 24/05/01** caractérisé par des précipitations très, très importantes.

Deux facteurs sont à considérer pour expliquer ce phénomène côté météo :

- les 32 à 39 mm de hauteur d'eau de pluie notée se sont produits en un laps de temps très court (45 minutes, voire 30 minutes sur Steinbrunn-le-Bas même) ;
- l'hiver et le printemps 2001 ont été caractérisés dans la région de Landser / Steinbrunn-le-Bas, comme sur la plus grosse partie du territoire national, par une forte pluviométrie, exceptionnelle lorsqu'on la compare avec les années précédentes. En conséquence les nappes ont été saturées, de même que très souvent les terrains situés entre nappes et sols lorsqu'ils sont perméables. Les orages qui se sont produits courant mai n'ont pas permis un retour à la normale du niveau des nappes et du contenu en eau des terrains sus-jacents.

Ce dernier fait a **très fortement réduit la capacité d'absorption des terrains des zones d'apport** et l'on s'est trouvé dans la région de Landser / Steinbrunn-le-Bas dans une **situation exceptionnelle** lorsque les très fortes précipitations du 24/05/01 se sont produites.

Les coulées boueuses se sont formées sur les zones non couvertes par de la végétation le 24/05/01 (donc avec sol à nu[24]).

Certaines caractéristiques locales des zones d'apport (topographie, géologie, pratique agricole) ont favorisé la formation des coulées de boues et ont donc aggravé le phénomène. A savoir :

- pentes accentuées ;
- présence de sub-affleurements calcaires ;
- limons loessiques constitués de particules souvent fines à très fines, légères ;
- sols de faible épaisseur ;
- monoculture ;
- tracé des sillons de plantation dans le sens de la plus grande pente (donc perpendiculairement aux courbes de niveau).

Sur les parcelles avec sol à nu (champs de maïs) les coulées ont emporté une partie du sol présent, même lorsque le ravinement n'est pas visible. Cette partie est faible mais notable, ne serait ce qu'à l'observation des épandages de boues en bas de pentes ou dans les champs de blé qui les ont "épongés". Le sol étant de faible épaisseur sur les loess, des matériaux du sommet de la formation des limons loessiques (**a^{1l}**) ont aussi été emportés[25].

Il faut noter que les parties submergées comportent des maisons anciennes, certaines comme à Landser de plus de 200 ans d'âge, qui n'avaient pas été mises en danger jusqu'à récemment. A Landser, une de ces fermes est visiblement « fragile » et n'a pas été conçue en fonction de possibles inondations. Ceci tendrait à conforter le caractère exceptionnel du phénomène de submersion dans la région et donc des coulées de boue.

Nous avons observé très localement l'existence de certaines caractéristiques qui ont minoré, freiné, voire empêché la formation des coulées dans les zones d'apport. Mais leur influence a été presque négligeable en raison de leur faible importance par rapport aux facteurs aggravant le phénomène. Il s'agit de :

- présence de champs de blé ou de prairies en alternance avec des champs de maïs ;

---

[24] Ce qui était encore le cas pour les champs de maïs le 30/05/2001

[25] Si de tels phénomènes de coulées boueuses devaient se reproduire, ces pertes en matériaux très fertiles deviendraient à terme dommageables pour les agriculteurs.

- présence de haies ou de rideaux d'arbres en bordure de champ ou en travers de vallée ;
- pratique de la polyculture (notamment celle induite par des terrains non encore remembrés, *cf.* à titre indicatif la comparaison entre même zones avant et après remembrement **photos 6a** et **6b**).

Des facteurs géographiques locaux ont favorisé la submersion d'une partie de l'agglomération de Steinbrunn-le-Bas par des coulées de boue provenant des pentes dominant le village immédiatement au Nord et à l'Ouest :

- le ruisseau Dorfbach suit une vallée Ouest-Est qui a concentré les coulées de boues dans les rues situées de part et d'autre de celui-ci ou en fond de vallon ;
- les apports en boues ont été accrus par les arrivées de coulées par les trois chemins et route localisés dans la pente au Nord de l'agglomération, ce qui explique la zone inondée à l'Est du village.

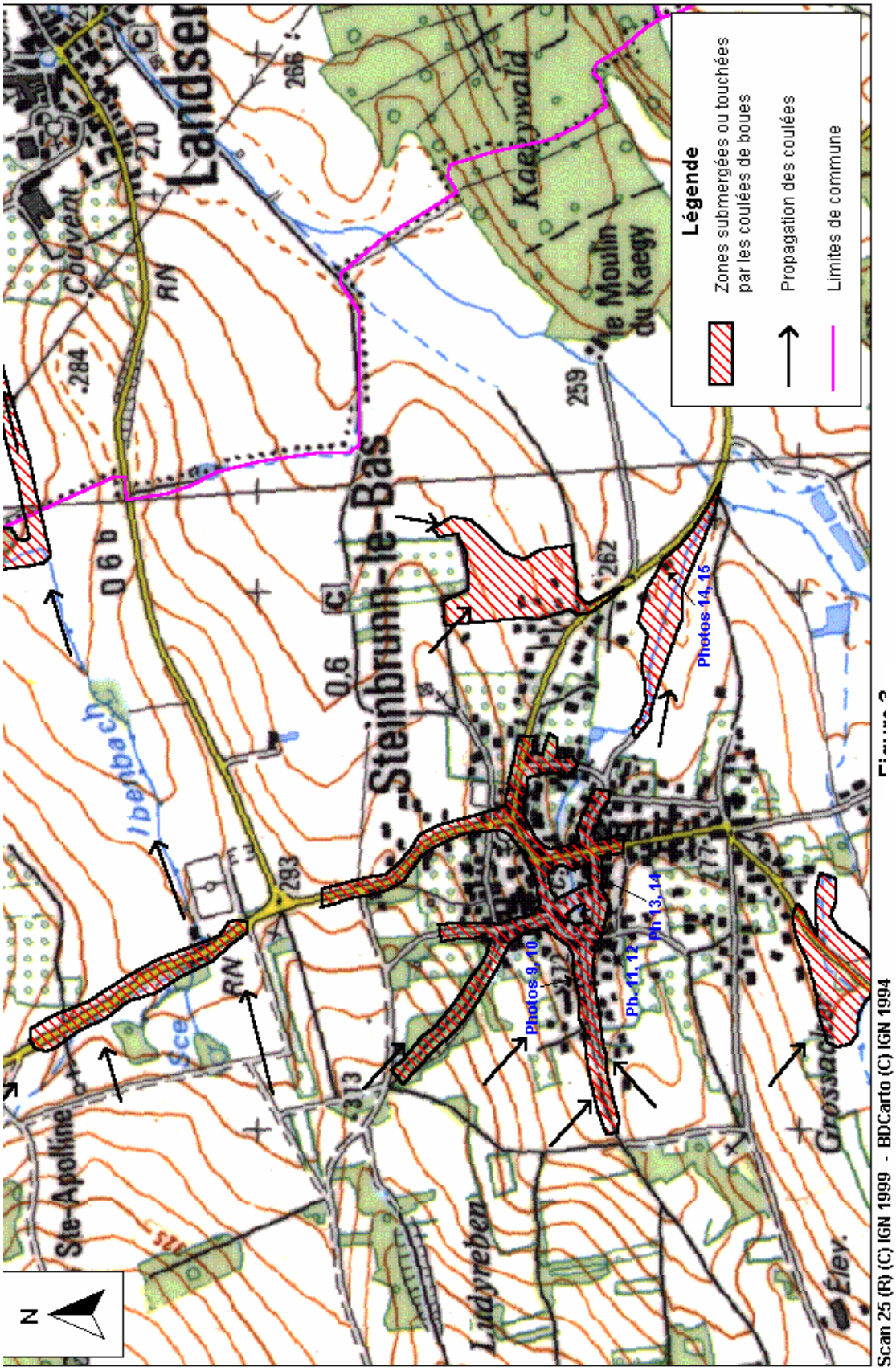


illustration 32 - Coulée de boue de Steinbrunn-le Bas : zones submergées ou touchées par des coulées
échelle : 1/10000

Planches photographiques de Landser et de Steinbrunn-le-Bas

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Photo 1 : Vue générale d’une zone d’alimentation</td><td>Photo 2 : Ravinement du sol et du loess dans sillons orientés suivant la pente</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>Photo 3 : Ravinement de surface de champ et dépôts boueux sur zone plate</td><td>Photo 4 : Dépôts de boue encore humide à l'amont d’une bordure d'arbres ayant ralenti la progression d'une des coulées, avec fentes de dessiccation typiques</td></tr>
</table>

Photo 5 : Alternance champs de maïs- champ de blé, avec traces d'une coulée de boue en haut et à droite du champ de blé (zone cerclée). A noter les dépôts boueux abondants à l'avant-plan

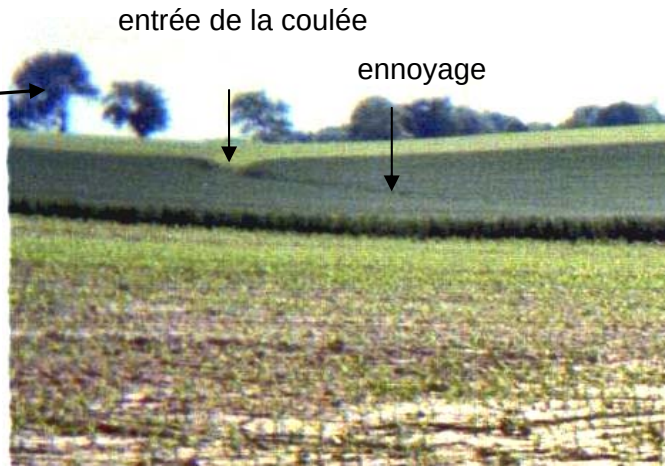


Photo 5 agrandie : les flèches montrent les points de d'entrée et d'ennoyage de la coulée ayant affecté le champ de blé et "absorbée" par lui

Photo 6a : Extrait de photo aérienne IGN de **1976**

Photo 6b : Extrait de photo aérienne IGN de **1999**

Ces extraits, correspondant aux zones d'apport des coulées de mai 2001 au Nord de Steinbrunn-le-Bas, illustrent l'influence du remembrement opéré entre 1976 et 1999 avec la création de grandes parcelles. Avant celui-ci le découpage en petites surfaces, souvent positionnées en angle droit ou en quinconce, empêchait des écoulements d'eau sur de vastes superficies et la formation de coulées de boues par ravinement du sol et des loess. La polyculture pratiquée (différents niveaux de gris des champs **photo 6a**) était également favorable à la préservation des sols.

Photo 7 : Champ de maïs sur des calcaires oligocènes sub-affleurants. Le ravinement a ici détruit les sillons, à l'inverse de la photo 8 où il en a simplement accentué certains.

Photo 8 : Exemple de ravinement et d'épandage de boues en bordure de ruisseau et d'un rideau d'arbres en bas de champ.

Photo 9 : Vue générale sur l'inondation provoquée par les coulées de boue en fond de vallon à Steinbrunn-le-Bas, rue de la Fontaine.

Photo 10 : Vue plus détaillée de l'inondation rue de la Fontaine (Steinbrunn-le-Bas).

Photo 11 : Accumulation de boues chez un habitant rue des Orphelins (Steinbrunn-le-Bas) avant enlèvement.

Photo 12 : Même habitation rue des Orphelins après enlèvement des boues déposées. La hauteur déductible est de l'ordre de 80 cm.

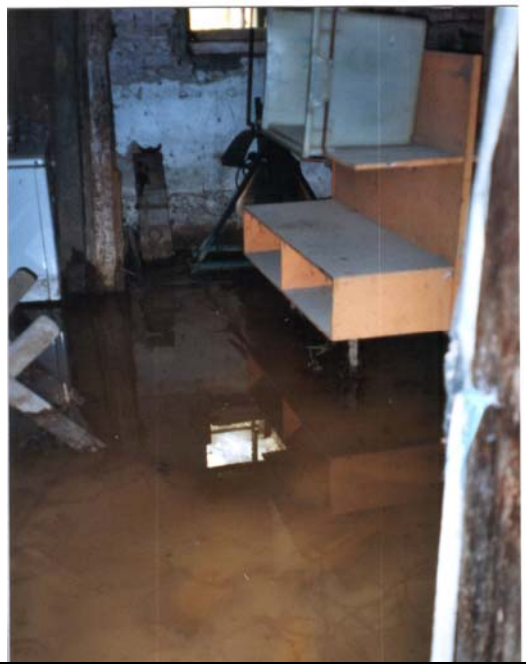


Photo 13 : Hauteur d'eau accumulée dans un appentis de la rue des Orphelins, au centre du village de Steinbrunn-le-Bas.

Photo 14 : Traces laissée dans une salle de bains de la rue des Orphelins, au centre du village de Steinbrunn-le-Bas.

Photo 15 : Travaux d'évacuation des boues 15 du Château à l'Est du village de Steinbrunn-le-Bas.	**Photo 16 :** Etat après travaux 15 rue du Château.

3.4. COULEES DE BOUE AU SUD DE MULHOUSE (68) EN 2002

Référence : André Vial (2002b).

3.4.1. Circonstances de l'intervention du BRGM en date du 03/07/02 et de la présente note au sujet des coulées de boue de la région de Mulhouse

La demande d'intervention provient de Mme Lermurier chargée, à la Protection Civile de la préfecture du Haut-Rhin à Colmar (SIDPC de Colmar), de l'instruction du dossier CAT.NAT sur les coulées de boue qui se sont produites. Il s'agit d'émettre un avis technique sur les aspects géologiques des coulées survenues le 20 juin 2002 dans les communes de Mulhouse, Brunstatt, Riedisheim, Zimmersheim, Flaxlanden, Rixheim, Schlierbach, Hochstatt, Froeningen, Habsheim, Zillisheim, Didenheim et Steinbrunnen-le-Haut.

Le but de la visite du 3 juillet 2002 était d'établir le diagnostic des causes géologiques du phénomène de coulées de boue.

La présente note s'appuie sur les constats effectués plus particulièrement dans les communes de Brunstatt et Flaxlanden où les dégâts ont été les plus importants. Dans les autres communes touchées le 20/06/02 les phénomènes à l'origine des coulées de boue sont soit les mêmes que dans ces deux communes, soit similaires à ceux à l'origine des coulées de boue qui se sont produites le 24/05/2001 dans les communes de Landser et de Steinbrunn-le-Bas, coulées sur lesquelles le BRGM avait précédemment émis un avis technique.

Nous avons effectué la visite des zones inondées et des zones de formation de coulées à Brunstatt avec l'aide de MM. Flury, Wassler et Libis, à Flaxlanden avec celle de MM. Ritty et Brisinger.

3.4.2. Faits et observations

Pluviométrie.

Un violent orage accompagné de pluies très intenses et très abondantes s'est produit dans la nuit du 19 au 20 juin entre environ 4 h et 4 h 45 du matin.

En raison de l'éloignement de leurs points de mesure par rapport à la zone touchée, le centre départemental de Météo France n'est pas en mesure de démontrer le caractère exceptionnel de cet épisode orageux avec ses propres relevés.

Cependant, localement, les hauteurs d'eau suivantes ont été mesurées :

- à **Brunstatt** : 50 mm d'eau en 45 minutes relevé par M. Bernard CLOG, Géomètre-Expert Foncier, expert auprès de la Cour d'Appel de Colmar ;

- à **Flaxlanden** : 60 mm d'eau en 45 minutes relevé par M. Gilbert Dogenhardt, agriculteur (avec un pluviomètre du type communément en usage en agriculture) ;
- à **Flaxlanden** : d'autres mesures citées par M. Brisinger, adjoint au maire de la commune, font état de hauteurs de pluies comprises entre 55 mm et de 70 mm pour le même laps de temps.

Ces observations ponctuelles attestent de la très forte intensité des précipitations ayant provoqué la création des coulées de boues constatées. Ces fortes quantités d'eau expliquent l'importance exceptionnelle des volumes de loess et de colluvions emportés dans les coulées de boue et le nombre exceptionnellement grand des habitations et lieux publics touchés par l'inondation et les accumulations de boue qui se sont ensuivies.

Zone affectée par les coulées de boue à Brunstatt et à Flaxlanden (cf. illustrations 30 et 31).

Le choix spécifique de la visite de ces deux communes fut motivé par les considérations suivantes :

- elles se trouvent dans la zone où calcaires et marnes de l'Oligocène affleurent le plus dans la région concernée par les coulées de boue et où la surface de recouvrement par les formations superficielles de loess est la moins grande. Les épaisseurs de loess y sont également les plus faibles de cette partie du Sundgau (de quelques mètres à une dizaine de mètres contre le plus souvent 10 à 20 mètres) ;
- elles se trouvent dans le secteur où les précipitations ont été les plus fortes (escarpements Nord-Ouest des collines du Nord Sundgau) ;
- elles sont situées avec Zillisheim dans la zone où les dégâts sont les plus importants.

Les hauteurs de coulées de boue ont atteint 60 à 80 cm près du centre de la ville de **Brunstatt**, submergeant dans le centre de cette ville rues, cours, jardins et tout ou partie des parkings souterrains (publics ou privés) et des caves (*cf.* **Photos 1** à **4**).

Les hauteurs de coulées de boue ont atteint 60 à 100 cm en contrebas de la mairie du village de **Flaxlanden**, submergeant dans le fond du vallon qui traverse l'agglomération chemins, routes, rues, champs, jardins, cours, les parties basses de nombreuses habitations et les caves et parkings privés (*cf.* **Photos 5** à **9**).

Les hauteurs de boues résiduelles asséchées ont atteint un maximum de 25 cm d'épaisseur en surface.

Les chemins, rues ou routes situées en bas de pentes ou sur les arrivées de coulés de boue ont été submergées et parfois ravinées (*cf.* **Photos 1**, **2**, **3**, **5**, **9**, **10**, **11**, **12**)**.**

A Flaxlanden environ 150 habitations sur un total de 450 ont subi des dégâts causés par les coulées de boue.

L'ensemble de ces constatations confirme l'intensité du phénomène de coulées et ne peut s'expliquer que par les précipitations exceptionnelles qui se sont produites, lesquelles ont remobilisé les loess et colluvions pourtant moins abondants dans ce secteur précis qu'ailleurs.

Examen rapide des communes de Bruebach, Zimmersheim, Rixheim et Riedisheim (cf. illustrations 30 et 31).

Le choix des communes situées au Nord du Sundgau s'explique par le fait que :

- les deux premières sont situées dans une partie assez centrale formant plus ou moins un plateau doucement penté vers l'Est, avec un recouvrement généralisé et important de loess ;
- les pentes des collines y sont en général plus faibles que sur le rebord Nord–Ouest du Sundgau vers Brunstatt ;
- les deux dernières communes comportent des zones urbanisées importantes.

Les traces de ces coulées de boue sont encore observables en dépit des nettoyages effectués par les municipalités[26].

Chacune de ces coulées se situait en contrebas de vastes zones cultivées en maïs (monoculture), malgré la présence, parfois importante, de secteurs boisés et de zones de polyculture.

Les champs de maïs sont prédominants (monoculture) dans les zones fortement agricoles.

Zones d'alimentation des coulées de boue (cf. illustrations 30 et 31).

Toutes les zones visitées correspondent à des zones de collines. Les pentes sont variables, d'assez douces dans les zones centrales du Sundgau à relativement accentuées sur les bordures ouest, nord et nord-est (Rixheim). Cependant, même sur ces bordures elles ne sont pas très fortes (en général de l'ordre de 5 à 12 %), à l'exception d'un secteur situé immédiatement à l'Est de Brunstatt (bord de la vallée empruntée par le chemin départemental n° 8 (CD8)).

Dans la zone centrale du Sundgau environ 75 à 80 % des surfaces ensemencées l'étaient pour le maïs[27]. Sur les hauteurs qui dominent Brunstatt, le tiers nord de

[26] En l'absence de témoignage direct et en raison de l'aspect tardif (2 semaines après le phénomène), extensif et rapide de notre visite il n'est, bien sûr, pas possible de qualifier l'intensité des dégâts causés.

Flaxlanden, Riedisheim et Rixheim, la proportion de terrains cultivés en polyculture (blé, prairie, betterave, …) est plus forte et atteint 30 % (voire plus), polyculture associée alors à de la forêt et à des haies. Cependant dans cette même zone de la bordure nord du Sundgau certains secteurs sont cultivés à forte dominance de maïs. Ils ont alors servi de zone d'alimentation en matériaux loessiques des coulées de boue.

Dans la phase de croissance actuelle du maïs (60 cm à 1 m de haut), les plants, qui sont relativement espacés les uns par rapport aux autres et disposés suivant des lignes séparées par des sillons, laissent le sol à nu sur une proportion importante de la surface des champs. Le résultat est que cette plante ne joue qu'un faible rôle dans la rétention des sols lorsque ces champs sont situés sur les pentes de collines ou de vallons.

Lorsque les précipitations se sont produites dans la nuit du 20 juin, le sol des champs de maïs, riche en éléments limoneux et argileux en surface (phénomène normal d'altération superficielle des loess), a commencé d'abord à absorber les eaux pluviales. Ceci a eu pour effet de faire gonfler ces composants argileux et limoneux. La surface de ces sols est alors devenue imperméable. La pluie, très forte, s'est alors écoulée sur les pentes emportant les éléments légers de la surface du sol. Un ravinement superficiel en est résulté. Celui-ci est parfois bien visible, entre autres lorsque les sillons sont disposés suivant le sens de la pente. Les sillons peuvent alors avoir été approfondis par l'écoulement de l'eau et parfois même former de petites rigoles.

En bas de pente l'eau chargée de particules fines s'est transformée en une boue liquide capable de déplacer des pierres (ravinement). Une partie de cette boue s'est déposée en bas de pente (*cf.* **photos 15**, **16**, **19**). Une partie plus importante a formé des coulées de boue qui ont poursuivi leur progression vers le bas des collines sur les pentes et en fond de vallon.

Lorsque le champ de maïs est bordé côté descente de la pente par un champ de blé on observe des parties de blé couché et boueux résultant du passage d'une coulée de boue formée en amont (*cf.* **photo 17**). Si ce champ est suffisamment large il a même pu arrêter l'avancée de la coulée en absorbant eaux et boue (phénomène observé pour les coulées de boue du 24/05/2001 de Landser / Steinbrunn-le-Bas).

Des haies d'arbres ou des langues de forêt ont eu le même effet de ralentissement des coulées, voire d'absorption de celles-ci, que les champs de blé en formant un barrage relatif.

A l'Est de Brunstatt, en amont de la vallée empruntée par la route reliant cette ville à la commune de Bruebach (CD n° 8), nous avons noté sur les côtés du vallon principal des arrivées de coulées de boue qui s'expliquent au moins en partie par l'apport de matériaux en provenance des colluvions situés en fond des petites vallées affluentes (*cf.* illustration 33). Ces colluvions sont constituées dans les zones à recouvrement

[27] Cependant, dans cette même zone, aux abords immédiats des villages la proportion de terrains cultivés en polyculture atteint environ 30 %, voire plus.

loessique par l'accumulation des parties altérées des loess. Ils sont facilement remobilisables puis transportables par ruissellement de surface en cas de pluie violente. Cette origine des apports en matériel boueux est marginale par rapport aux apports dus à l'érosion du sol des champs de maïs. Mais celle-ci explique comment les coulées de boue de Brunstatt ont pu avoir l'importance observée en dépit d'une situation moins favorable à leur formation qu'ailleurs dans la région touchée (surfaces d'affleurements des calcaires et marnes oligocènes importantes, présence de zones boisées, présence notable de prairies et de champs de blé dans les zones cultivées : jusqu'à 40 % par endroit sur le demi-plateau situé à l'Est de Brunstatt et au Nord du CD n° 8).

Nous n'avons observé aucun ravinement, aucune trace de transport de matériaux loessiques lorsque les flancs de collines sont occupés par des champs de blé ou par des prairies.

Contexte géologique (cf. illustration 33)

Les zones d'alimentation des coulées boueuses correspondent du point de vue géologique à des formations superficielles quaternaires de loess, limons loessiques, lehms (Œ sur la carte géologique de Mulhouse à l'échelle 1/50 000). Ces formations recouvrent des calcaires et marnes oligocènes (**e7-g1d** et **e7**-**eg1c** de la carte géologique). Ces loess apportés en climat froid par des vents provenant de l'Ouest se sont accumulés sur des épaisseurs plus grandes du côté est du Sundgau (10 à 20 m en général et parfois plus) que sur le rebord ouest (quelques m à 10 m, *cf.* **photo 20**). A la surface de cette formation superficielle le sol est composé par la partie altérée des loess : il est notamment plus riche en limons argileux fins. Cette zone altérée est fragile, susceptible d'être facilement remobilisée et emportée par des ruissellements de surface. On estime généralement que des hauteurs de pluie excédant 20 à 25 mm par heure peuvent provoquer, sur des pentes, la formation de coulées de boue sur des sols loessiques à nu.

Au fond des vallons des ruisseaux et rivières qui drainent ces grandes surfaces de loess se sont accumulés des colluvions (**CJ** sur la carte géologique de Mulhouse) composées de loess sableux et de loess altérés argileux. Ces colluvions sont plus facilement remobilisables par des ruissellements de surface que les loess.

Calcaires et marnes oligocènes affleurent en général de façon très mineure et sporadique sauf dans les communes de Brunstatt et Flaxlanden où affleurements et sub-affleurements de ces formations constituent 10 à 15 % des surfaces. A Brunstatt il existe un réseau karstique dans une formation calcaire qui a absorbé une partie d'une des coulées de boue au niveau d'une ancienne carrière.

Les zones d'épandage des coulées de boue correspondent en bordure du massif du Sundgau à des alluvions (**Fzb**, **Fy**, **Fyr**, sur la carte géologique).

3.4.3. Conclusions des observations

La **cause principale du phénomène de coulées boueuses** constaté dans les 13 communes situées à l'extrémité Nord du Sundgau, au Sud de Mulhouse est **l'épisode orageux du 20/06/2002** caractérisé par des précipitations extrêmement importantes.

Le facteur principal à considérer pour expliquer ce phénomène est le suivant :

- **les hauteurs d'eau de pluie notées (notamment 50 mm à Brunstatt et 60 mm à Flaxlanden) se sont produites durant un laps de temps très court (45 minutes).**

Or il suffit de précipitations deux fois moins intenses (de l'ordre de 25 mm en 1 heure) pour remobiliser les matériaux à la surface des sols loessiques et des colluvions lorsque ces sols et colluvions sont à nu et pour déclencher la formation de coulées de boue lorsque les surfaces exposées à ces pluies sont en pente.

La deuxième cause du phénomène est bien sûr la présence du recouvrement superficiel de toute cette région par des loess et la présence en fond de vallons de colluvions. Ces deux formations sont très "fragiles". Les matériaux les constituant en surface sont facilement remobilisés lors de très fortes pluies. Dans le cas de terrains en pente, ils sont ensuite emportés par les ruissellements qui sont susceptibles de se produire sur les sols à nu ou sur les terrains ensemencés en plants qui ne retiennent que très peu ces matériaux (en l'occurrence ici : maïs).

Les coulées boueuses se sont formées le 20/06/02 sur les zones cultivées en maïs ou non couvertes par de la végétation (donc sols non retenus par la végétation en place ou à nu).

Certaines caractéristiques locales des zones d'apport (topographie, géologie, pratique agricole) ont favorisé la formation des coulées de boues et ont donc aggravé le phénomène. A savoir :

- pentes accentuées ;
- limons loessiques et colluvions constitués de particules fines à très fines, légères ;
- sols de faible épaisseur ;
- monoculture ;
- tracé des sillons de plantation dans le sens de la plus grande pente (soit perpendiculaire aux courbes de niveau).

Sur les parcelles cultivées en maïs (et sur les très rares surfaces avec sol à nu) les coulées ont emporté une partie du sol présent, même lorsque le ravinement n'est pas visible. Cette fraction emportée est faible mais notable, ne serait ce qu'à l'observation des épandages de boues en bas de pentes (ou dans les champs de blé ou haies ou langues boisées qui les ont ralentis, voire "épongés").

Par endroit certaines caractéristiques ont minoré, freiné, voire empêché la formation des coulées dans les zones d'apport en matériel boueux. Mais leur influence a été le

plus souvent faible en raison de leur moindre importance par rapport aux facteurs aggravant le phénomène. Il s'agit de :

- présence de champs de blé ou de prairies en alternance avec des champs de maïs ;
- présence, en bordure de champ ou en travers de vallon, de haies ou de langues forestières ; présence de forêts ;
- pratique de la polyculture (observable en particulier dans les zones comportant des terrains non remembrés) ;
- présence de bassins d'orage qui ont joué un rôle de rétention, notamment à Brunstatt et à Flaxlanden (*cf.* **photos 13**, **14**) ;
- présence de karst dans des formations de calcaire oligocène (absorption d'une partie d'une coulée de boue à Brunstatt).

Des facteurs géographiques spécifiques ont favorisé la submersion de secteurs d'agglomération par des coulées de boue :

- une des vallées assez encaissées a concentré des quantités considérables de boue sur une zone urbanisée particulière (centre de Brunstatt) ;
- certains vallons à grand bassin versant planté en monoculture de maïs ont joué le même rôle.

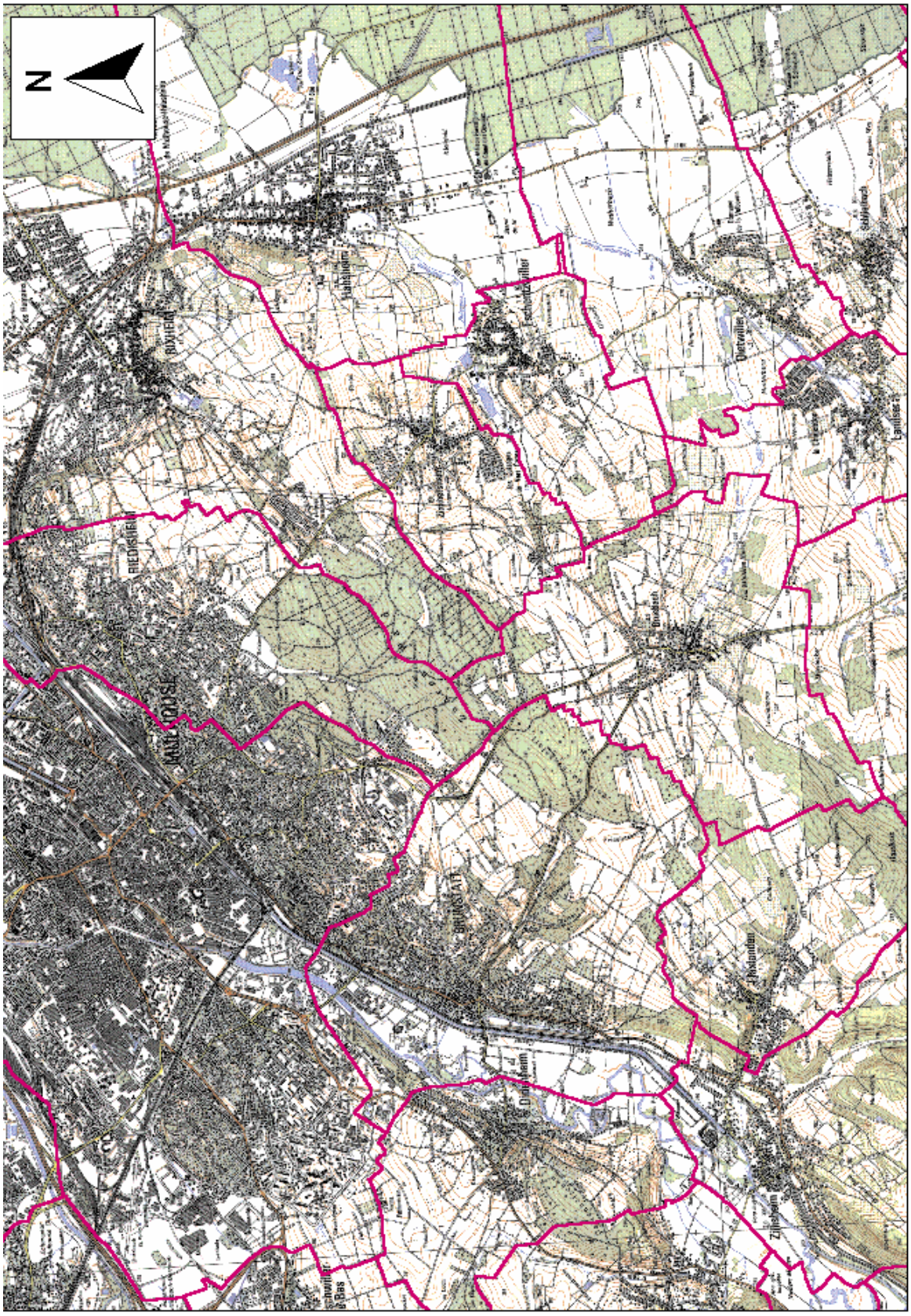


illustration 33 - Coulées de boue du Sud de Mulhouse : plan de localisation
Echelle 1/50000

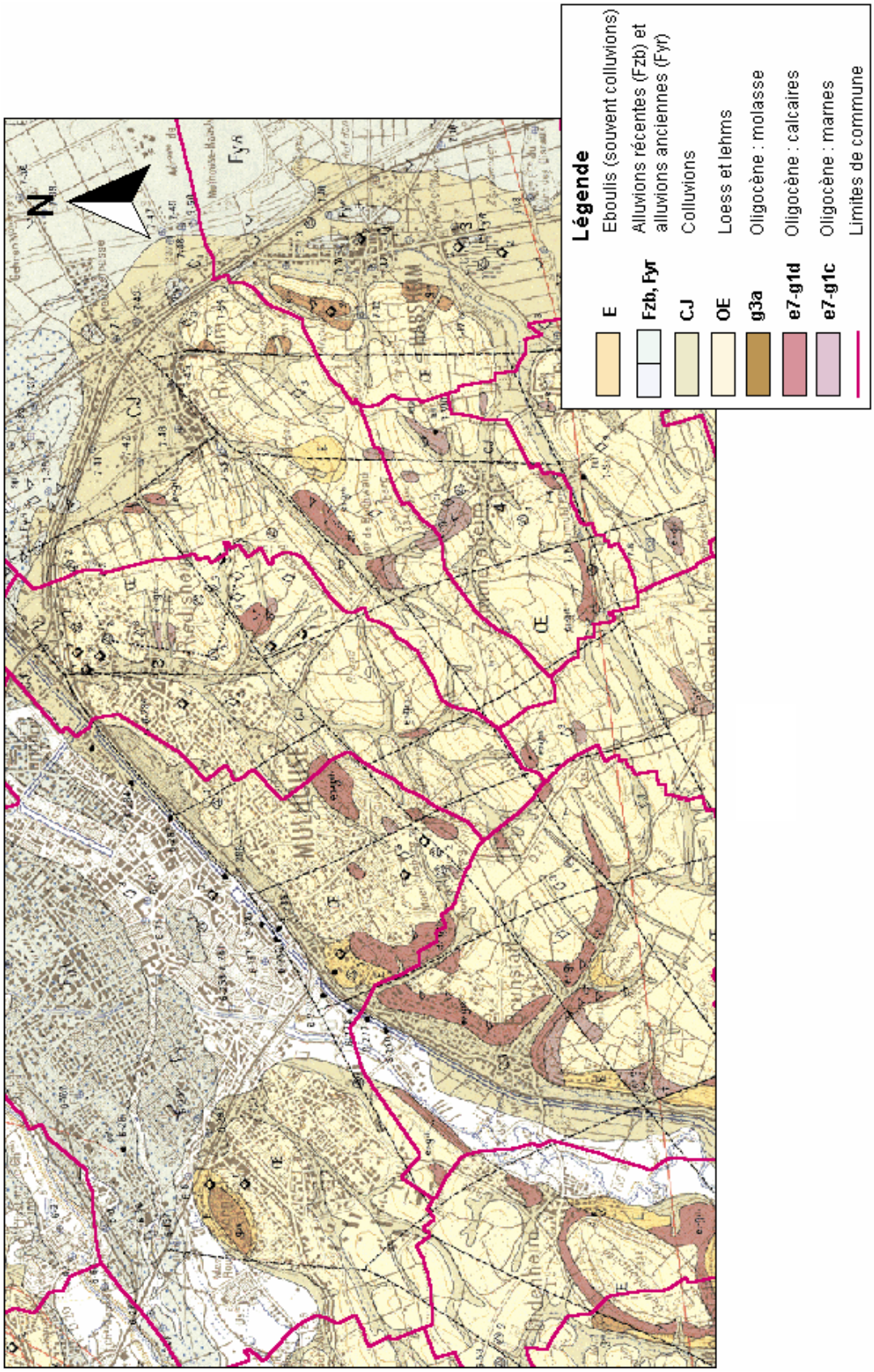


illustration 34 - Coulées de boue du 20/06/2002 au Sud de Mulhouse : contexte géologique échelle 1/5000

Planches photographiques de la région située au Nord de Sundgau et au Sud de Mulhouse

Photo 1 : L'inondation en cours à Brunstatt

Photo 2 : Brunstatt, ravinement de la rue par laquelle est arrivée la coulée de boue principale

Photo 3 : Brunstatt, la boue recouvrant une rue au matin du passage des coulées

Photo 4 : Brunstatt, hauteur de boue visible sur la porte de cette entrée d'immeuble

Photo 5 : Flaxlanden, les partie basse du village au matin suivant le passage des coulées

Photo 6 : Flaxlanden, un garage en sous-sol noyé (hauteur max. de la coulée visible sur la porte)

Photo 7 : Flaxlanden, une des maisons sinistrée par le phénomène (hauteur de boue de l'ordre du m)

Photo 8 : Flaxlanden, boue asséchée laissée par les coulées 2 semaines après l'inondation (environ 20 cm)

Photo 9 : Flaxlanden, rue recouverte de boue avant nettoyage

Photo 10 : Nettoyage en cours peu après l'inondation

Photo 11 : Exemple de ravinement de chaussée

Photo 12 : Autre exemple de ravinement de chaussée

Photo 13 : Flaxlanden, le bassin d'orage rempli au matin du 20/06/02. Exemple d'une bonne rétention de coulée

Photo 14 : Flaxlanden, le même bassin le 03/07/2002 (niveau max. de hauteur de boue visible sous la passerelle)

Photo 15 : Passage d'une coulée dans un champ de maïs

Photo 16 : Autre cas de passage de coulée

Photo 17 : Flaxlanden, passage de la plus importante coulée de boue dans un champ de blé, en fond de vallon

Photo 18 : Autre exemple de passage d'une coulée de boue avec destruction de la haie décorative en bordure de propriété

Photo 19 : Flaxlanden, épandage d'une partie des matériaux remobilisés par une coulée en bas de champ de maïs. A noter que les pentes sont faibles et que pourtant un départ de coulée s'est produit.	**Photo 20 :** Brunstatt, affleurement de loess en bordure du chemin départemental n° 8

4. Les chutes de blocs et les éboulements

4.1. GENERALITES

Ces évènements interviennent en situations de falaise, où les masses rocheuses, parcourues par des discontinuités, donnent lieu à des mécanismes variés : glissements plans, glissements de dièdre, basculement ou rupture de pied d'une colonne, etc.

On distingue les chutes de pierres (volume élémentaire inférieur à 1 dm^3), les chutes de blocs (volume élémentaire entre 1d m^3 et 1 m^3) ou de gros blocs (supérieur à 1 m^3). Des volumes rocheux importants peuvent se déstabiliser et donner des éboulements (quelques dizaines de m^3 à plusieurs centaines de milliers de m^3).

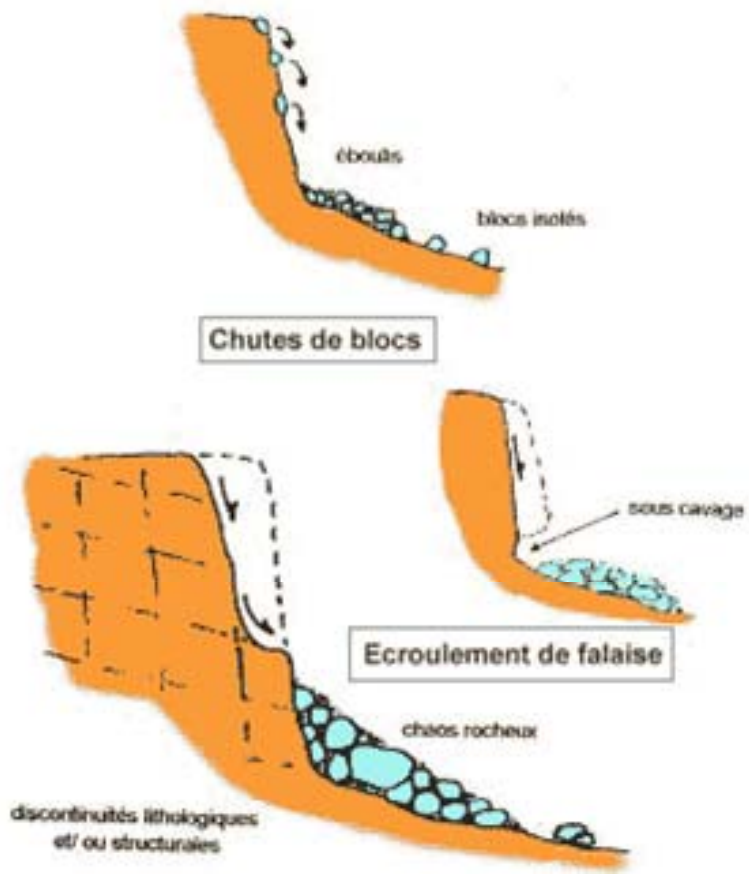


illustration 35 - chutes de blocs *(extrait du site www.bdmvt.net)*

Les chutes de blocs concernent en Alsace les communes de Ferrette et de Leymen sur la période intéressée.

4.2. MENACES DE CHUTES DE ROCHERS A FERRETTE (68) EN 1996.

Référence : Materne Daesslé (1996).

4.2.1. Introduction

Au cours de travaux de débroussaillage dans les versants situés sous le château de Ferrette (68), des rochers d'apparence instable, menaçant les habitations situées en contrebas, ont été découverts.

La mairie de Ferrette, soucieuse d'assurer la sécurité des habitants a souhaité recueillir un diagnostic sur l'état d'équilibre des rochers signalés. Ceci paraissait d'autant plus justifié que la commune s'apprêtait à recevoir une manifestation commémorative importante regroupant un nombreux public. Pour cela, elle a alerté la préfecture de Colmar qui a mandaté le BRGM pour qu'il intervienne dans le cadre de ses actions de service public.

L'examen du site a été pratiqué le 13 juin 1996, en compagnie de :

- M. Brand, maire de Ferrette,
- MM. Noblat et Misslin, adjoints au maire,
- M. Herment, secrétaire général de la sous-préfecture d'Altkirch,
- M Drexler de l'ONF,
- M. Fromer de la DDE,
- MM. Daessle et Messin du BRGM.

4.2.2. Situation

Ferrette se trouve à l'extrémité sud du département du Haut-Rhin, au rebord du massif du Jura, en limite de la plaine du Sundgau (illustration 35).

Le château de Ferrette se situe sur un promontoire rocheux qui domine au sud-est les premières habitations du village d'une cinquantaine de mètres. Le village se trouve à l'altitude + 500 m environ.

Sur le plan géologique, les formations constituant le relief sur lequel est implanté le château appartiennent au Rauracien et au Séquanien. Les calcaires sont massifs, d'aspect parfois crayeux ou lithographique sans structure bien visible et sans discontinuités régulièrement marquées. La stratification est orientée est-ouest à pendage nord.

Les rochers menaçants se trouvent sous les murs d'enceinte dans l'angle sud-est du château, ils sont situés approximativement sur le plan cadastral de l’illustration 36 car le repérage dans le versant couvert de végétation est difficile. Une mission de topographie est actuellement engagée afin de les positionner correctement.

Ces rochers ont vraisemblablement marqué le paysage depuis longtemps, en particulier lorsque les terrains situés sous le château étaient cultivés. En effet, comme en témoignent diverses illustrations anciennes (illustration 37), dans cette partie de l'enceinte du château, des rochers apparaissent proéminents probablement de façon exagérée par rapport à la réalité.

4.2.3. Diagnostic

Caractéristiques des blocs

La représentation détaillée des blocs est difficile car la configuration du versant est relativement complexe ; on peut cependant noter les points suivants :

- depuis la base des murs d'enceinte, trois éperons rocheux ressortent dans le paysage. Les deux plus élevés constituent des rochers monolithiques élancés de moins d'une dizaine de mètres de haut et ils ne montrent aucun signe d'instabilité. C'est en revanche à partir de celui qui est situé le plus à l'aval que les menaces apparaissent ;
- en fait la masse rocheuse concernée est formée de plusieurs rochers (illustration 39), les deux principaux constituant les assises, le troisième reposant sur les deux précédents, le tout étant agencé à la façon des dolmens.

Le pilier aval mesure une dizaine de mètres de haut pour une section de trois ou quatre mètres carrés, la "table" instable a un volume d'une dizaine de mètres cubes et l'appui amont est constitué de plusieurs éléments distincts dont le volume est difficilement appréciable.

- parmi les rochers décrits, tous sont relativement monolithiques, sans discontinuité notable, sauf le pilier aval qui est parcouru par une longue fracture ouverte subverticale qui se referme progressivement du haut vers le bas ;
- la pente sur laquelle affleurent les rochers est forte, proche localement de 45 degrés avec latéralement des parties qui forment de petites falaises ;
- la différence de niveau entre la plate-forme sur laquelle repose le château et les premières habitations peut être estimée à une cinquantaine de mètres et les masses instables sont situées à mi-pente.

Equilibre des masses instables

La position actuelle de la "table" rocheuse résulte vraisemblablement d'un basculement ancien de l'éperon amont qui s'est rompu puis ensuite, est venu s'appuyer sur l'éperon aval. L'hypothèse d'un détachement dans un rocher plus massif, des blocs qui se trouvaient en dessous de la "table" entre les deux éperons pour venir modeler la forme actuelle ne peut cependant être exclue.

Aujourd'hui, les facteurs déclenchants d'une rupture pourraient être les suivants :

- évolution de l'ouverture de la fracture qui parcourt selon une verticale l'appui aval. On ne connaît pas bien l'enracinement de l'éperon, ni son confinement latéral. Un écartement trop important de la fracture ou une dislocation de l'éperon réduirait la surface d'appui de la table et la déséquilibrerait. Actuellement, l'observation ne permet pas de déceler de traces de mouvements récents le long de cette discontinuité ;
- évolution des surfaces d'appui de la table. Celle-ci repose en fait sur trois appuis (deux à l'amont, un à l'aval) qui ne montrent aujourd'hui aucune trace de rupture récente liée à une concentration de contrainte. Un écaillage ancien est visible au niveau des points d'appui, il ne paraît pas évoluer actuellement ;
- effets du gel et du dégel. Les calcaires concernés sont apparemment légèrement gélifs, on observe sur le site des niveaux dégradés et des blocs déchaussés qui témoignent d'une altération progressive. Ces phénomènes peuvent avoir une action dans les mécanismes d'ouverture des fissures et dans la réduction des surfaces d'appui, là où les efforts principaux sont appliqués. Il s'agit là d'une action de long terme dont le processus peut cependant s'accélérer rapidement ;
- effets de séismes. La région de Ferrette est classées en catégorie II dans le zonage sismique de la France et des accélérations préjudiciables à la tenue des rochers peuvent être appliquées en cas de séisme de forte magnitude.

On notera par ailleurs que si les blocs instables venaient à se libérer, la pente est telle que des désordres graves seraient inévitablement provoqués aux habitations situées en contrebas. De plus, en cas de rupture du pilier aval ou de basculement de la "table", c'est non seulement ces deux blocs qui se libéreraient mais probablement d'autres blocs secondaires joints aux précédents.

En conclusion, à l'observation, les masses rocheuses ne présentent pas de signes laissant craindre une évolution de très court terme, c'est à dire une rupture provoquant la libération des rochers dans la pente.

En revanche, l'équilibre paraît précaire et la sécurité actuelle doit être améliorée. Ceci est d'autant plus justifié qu'en cas de chute, les blocs ne se fragmenteraient vraisemblablement pas et aucune protection ne pourrait les intercepter avant les habitations.

4.2.4. Recommandations

Les recommandations principales visent à échéance proche et sans contrainte liée à une période de crise, à supprimer la menace que représentent les blocs instables. Deux solutions sont *a priori* envisageables, soit la destruction, soit le confortement en place.

La destruction, compte tenu de la proximité des habitations sera délicate et devra être effectuée sans explosif (ciment expansif) avec des protections de chantier lourdes.

Le confortement pourra être effectué soit par des renforcements par ancrages (passifs) et ouvrages de blocage, soit par des procédés de confinement ou d'élingage (filets, câbles).

Dans les deux cas, les installations de chantier seront délicates et les accès devront être créés.

Parmi les solutions évoquées, il convient de retenir que la destruction constitue une option définitive, tandis que les travaux de confortement doivent généralement être suivis, entretenus et ont une durée de vie limitée par rapport aux précédentes.

Dans l'immédiat et avant que ces travaux soient mis en oeuvre, il est conseillé de mettre en place quelques repères simples afin d'apprécier d'éventuels mouvements. Les points d'observation ont été précisés au cours de l'examen du site du 13.06.96, les mesures peuvent dans un premier temps être prises mensuellement puis espacées si aucun mouvement n'est identifié. L'installation de ce réseau ne devra en aucun cas être considérée comme une garantie de sécurité, elle est surtout destinée à apprécier l'évolution sur une longue période, de plus, l'appareillage peut servir de référence en cas de doute sur l'équilibre des masses.

On notera par ailleurs que des traces de chutes de blocs de petite taille (dizaine de litres) sont visibles dans le versant à proximité de ce site et qu'à l'issue d'une observation plus détaillée il conviendra vraisemblablement de définir des moyens de protection adaptés.

Enfin, dans la perspective d'une exécution prochaine des travaux, il est conseillé de réaliser une étude préliminaire sur la définition, la faisabilité et les coûts des solutions qui pourront être mises en oeuvre. Ce document servira de base à une consultation des entreprises spécialisées. Il est par ailleurs conseillé à la Commune de s'entourer pour l'exécution de ces travaux très spécifiques de l'appui d'un maître d'oeuvre lui-même spécialisé.

4.2.5. Conclusion

Les rochers découverts au cours de travaux de débroussaillage sous les murs d'enceinte sont en position d'équilibre précaire. Aucun indice, aucune observation ne montrent cependant qu'une évolution récente s'est produite. Il n'y a pas de menace immédiate, mais la sécurité n'apparaît pas pour autant assurée à terme.

En cas de rupture, les conditions du site sont telles que des désordres importants se produiraient dans les habitations. En effet, les masses rocheuses sont assez monolithiques, le volume des blocs résiduels serait voisin de un à plusieurs mètres cubes et aucun obstacle ne les intercepterait dans la pente qui est proche de 45 degrés.

Il est recommandé d'engager à assez court terme et en dehors de toute pression liée à l'urgence, des travaux de mise en sécurité fondés, soit sur des solutions de confortement, soit sur une option de destruction des blocs menaçants.

Par ailleurs, dans l'attente de ces travaux, il est également recommandé de mettre en place une série de repères qui seront mesurés mensuellement et qui permettront à plus long terme d'apprécier d'éventuels déplacements.

Pour mettre en oeuvre ces dispositions, il est conseillé à la commune de s'appuyer sur la prestation d'un bureau d'études spécialisé dans la maîtrise d'œuvre de tels travaux spécialisés.

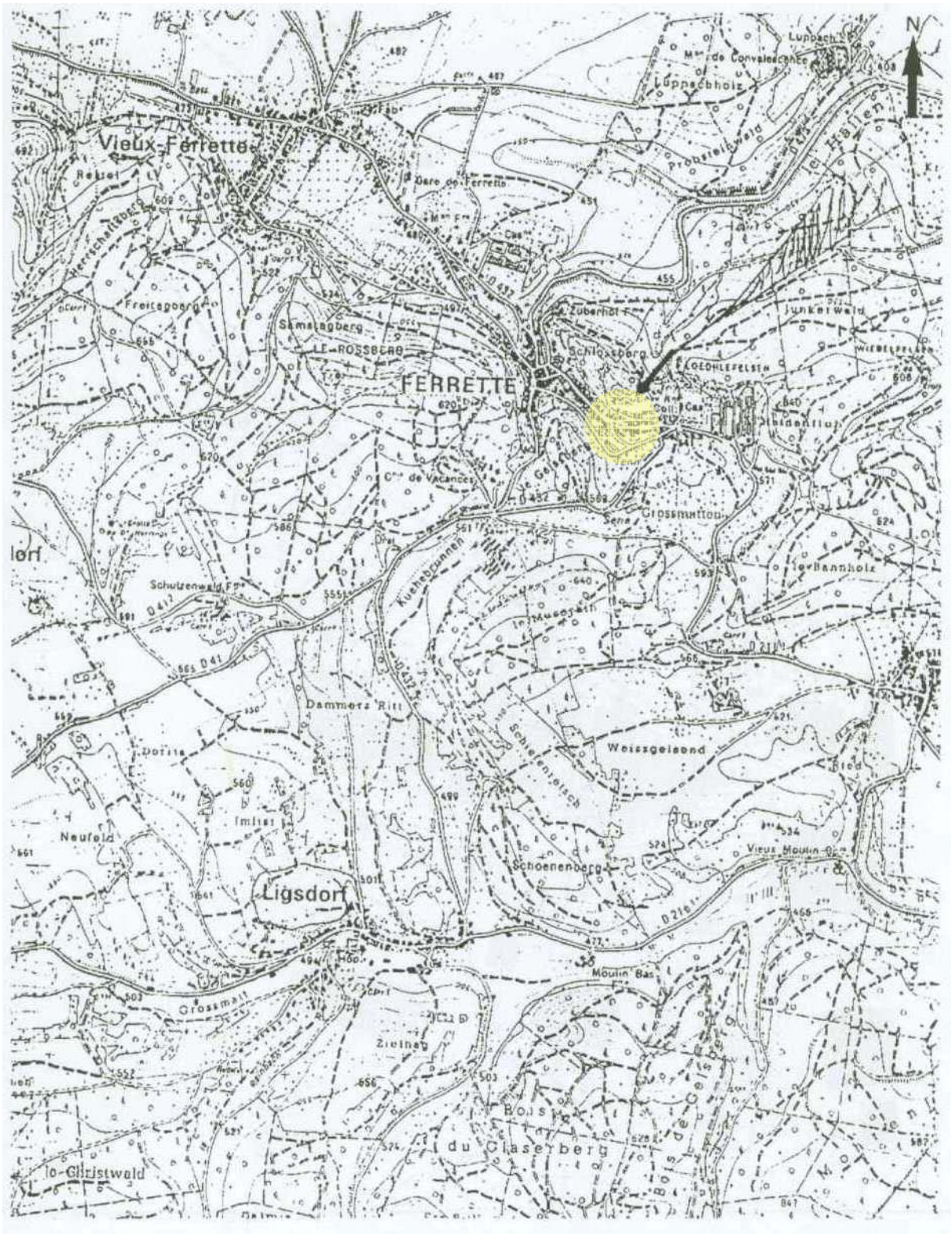


illustration 36 - Situation – Echelle 1/25000

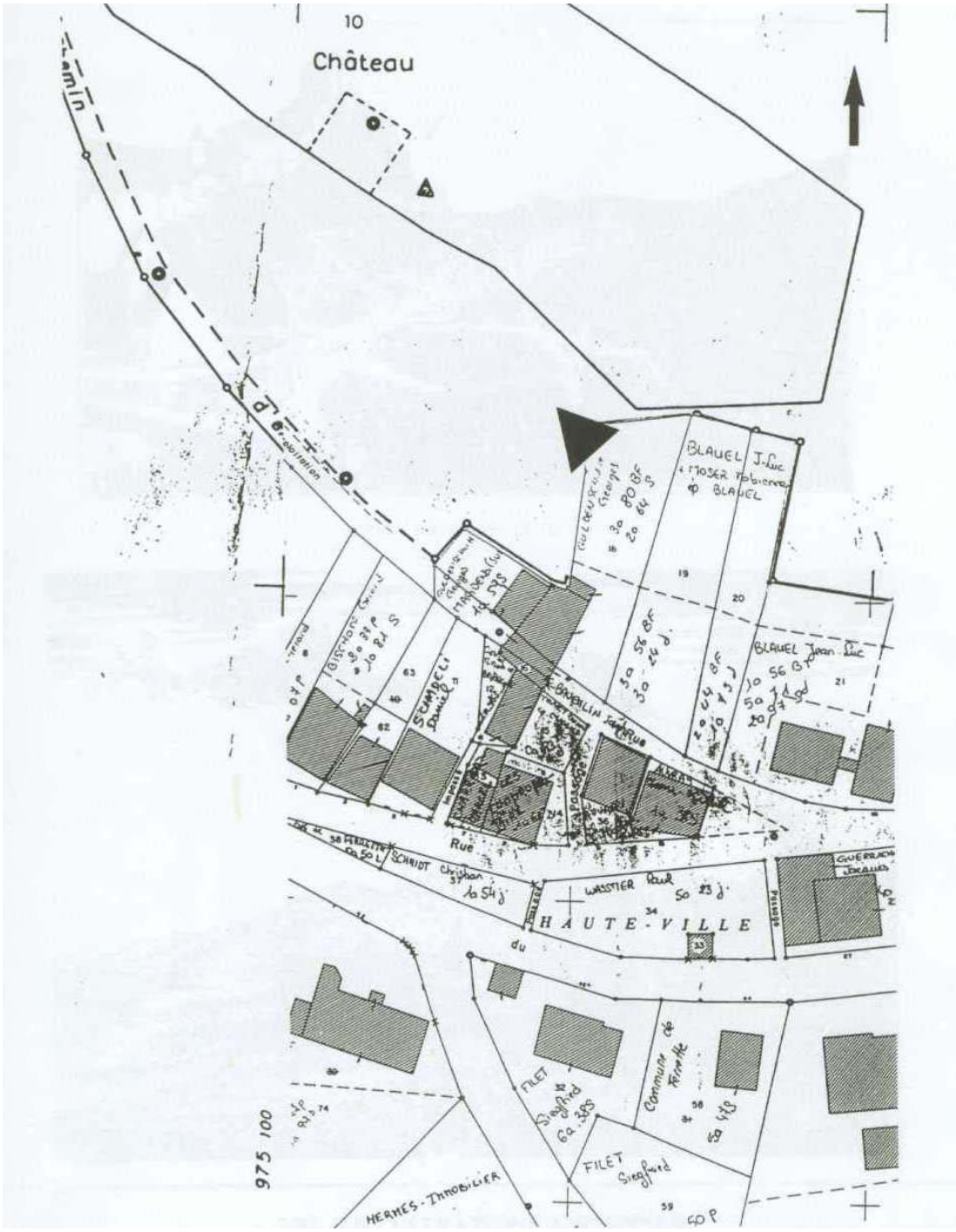


illustration 37 - Situation cadastrale – Echelle 1/1000

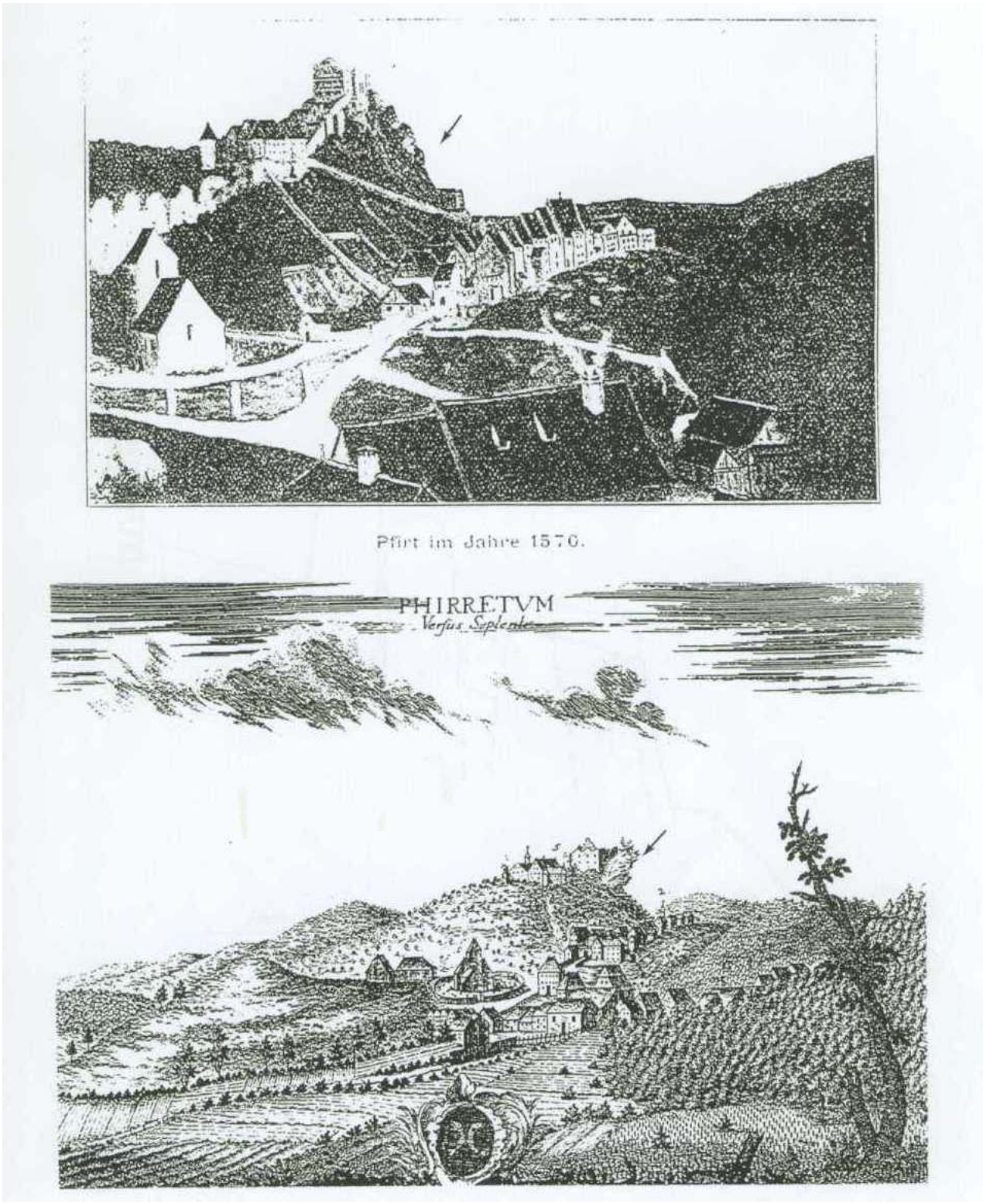
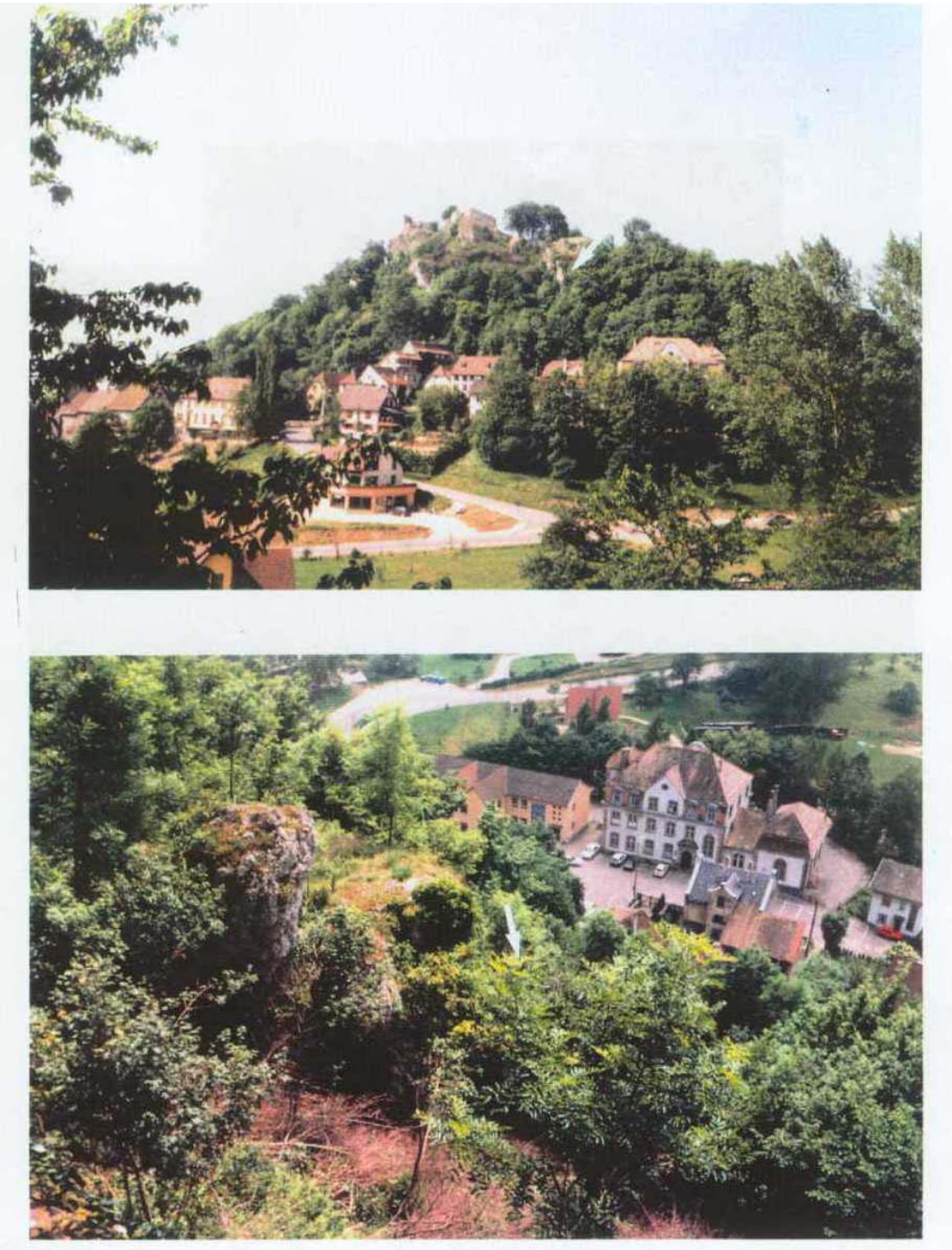


illustration 38 - Illustrations anciennes

illustration 39 - Représentations schématiques

Planches photographiques de menaces de chutes de rochers sous le château de Ferrette (68)



4.3. DETACHEMENT D'UN ROCHER A LEYMEN (68) EN 2001

Référence : Murielle Chabart (2001a).

4.3.1. Objet de la présente note

L'intervention du BRGM s'inscrit dans le cadre des actions d'Appui aux Administrations (fiche SP 01PIR101). A la demande des autorités préfectorales du Département du Haut-Rhin, Service Interministériel de Défense et de Protection Civile (Madame Reinstettel), le BRGM a effectué une mission de diagnostic à Leymen le 10 septembre 2001.

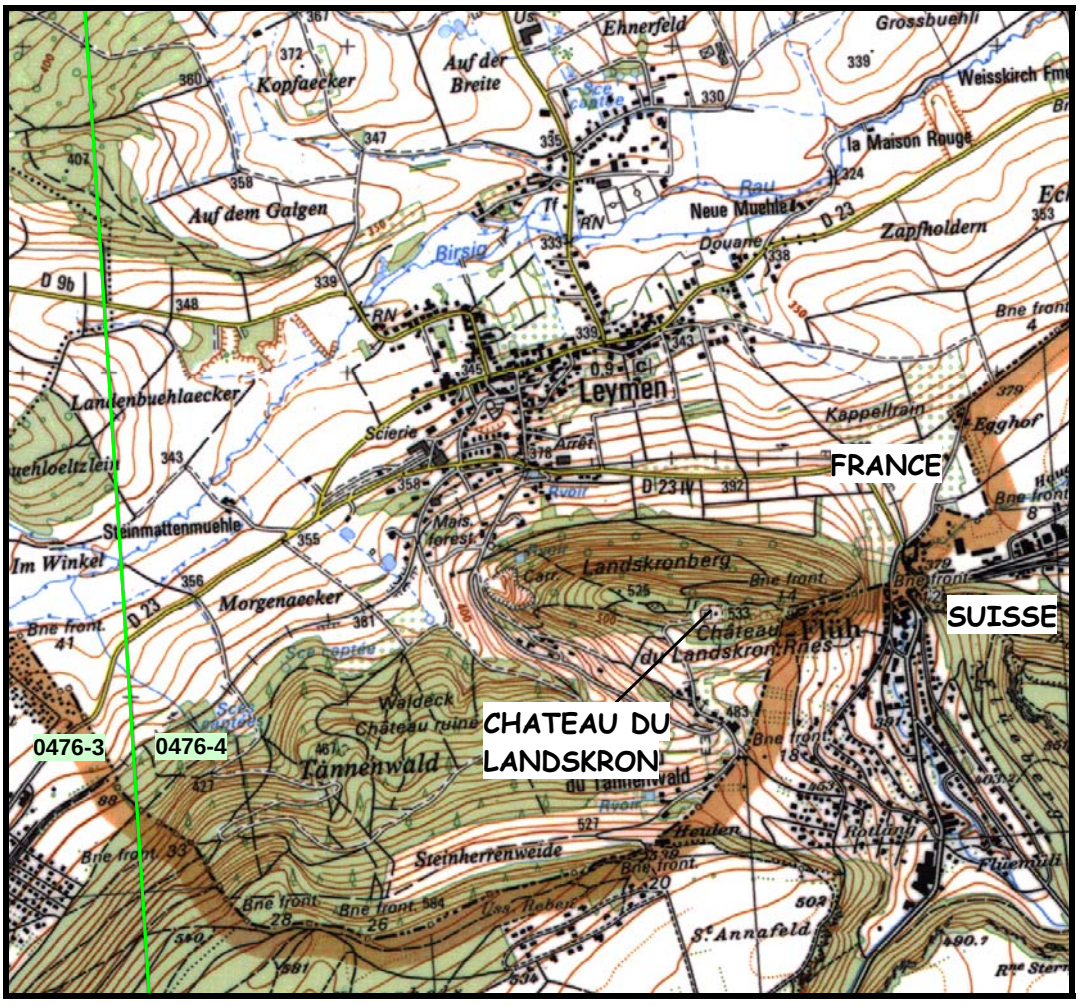
L'intervention du BRGM a été motivée par un courrier du 7 août 2001 émanant de Madame Ott, présidente de l'association pour la sauvegarde du château du Landskron à Leymen, adressé à Monsieur le Sous-préfet de Mulhouse. Dans ce courrier, il est en effet signalé qu'un bloc de rocher d'une centaine de kilos s'est détaché du socle rocheux qui constitue la base du donjon du château du Landskron à Leymen. Sur les indications de la préfecture un périmètre de sécurité aurait été mis en place et les visites du château interdites par décision de l'association gestionnaire. Cet effondrement aurait été causé par des infiltrations d'eau.

Lors de la visite du site étaient présents Madame Danièle Ott, présidente de l'association « Pro Landskron », Monsieur Edouard Spielmann (vice-président de l'association), Monsieur Max Wyss (membre actif), ainsi qu'une équipe de journalistes de la presse locale.

4.3.2. Etat des connaissances

La Situation

La commune de Leymen est implantée dans la partie sud du département du Haut-Rhin (Sundgau), au Sud de la ville de Mulhouse. L'agglomération est située dans la vallée de la Birsig, au pied du relief du Landskron (569 m) qui supporte, au sud et en limite frontalière avec la Suisse, le château du même nom.



SCAN25®©IGN 1999

illustration 40 - Extrait de la carte IGN3721 et Huningue-Bâle (Echelle approximative 1/20 000)

Le château

L'origine du château du Landskron remonte au début du XIème siècle[28]. Il fut la propriété conjointe de l'Evêque de Bâle et des Comtes de Ferrette. Il est endommagé en 1356 par un tremblement de terre puis transformé en 1515 sous le règne de l'empereur Maximilien. En 1639, le Landskron passe sous le contrôle des Weimariens et en 1648 la partie autrichienne est officiellement dévolue au roi de France. La forteresse est ensuite considérablement remaniée par Vauban qui établit en outre des ouvrages avancés sur toute la crête, avant d'être convertie en prison d'État. L'édifice est démantelé en 1814 par les Autrichiens. La forteresse est ensuite rachetée en 1857

28 http://www.cc-porte-du-sundgau.fr

par la famille Reinach. Depuis 1984, l'Association franco-suisse "Pro Landskron" en est devenue propriétaire et d'importants chantiers de consolidation ont été mis en oeuvre.

Le château du Landskron est constitué de trois parties distinctes correspondant à trois périodes successives[29] :

1. le noyau primitif d'une part, formé par le donjon du XII ème siècle, qui s'élève sur un piton rocheux, au pied duquel se trouvait un logis semi-circulaire et une cour délimitée par la courtine où se trouvaient un puits ainsi qu'une citerne destinée à recueillir les eaux de pluie ;
2. les adjonctions de 1515 à 1516 d'autre part destinées à adapter le château aux armes à feu : une porte massive datée de 1515 donne accès à la cour basse après avoir traversé l'enceinte des Habsbourg ;
3. les modernisations dues à Vauban, datant de la période française, constituées par les fortifications rasantes et les redoutes détachées, au nord et au sud.

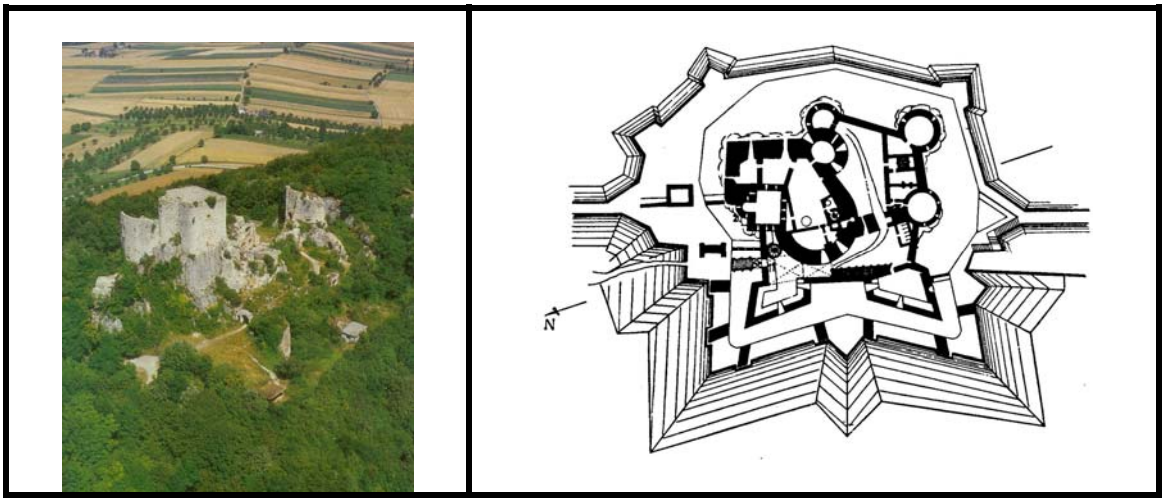


illustration 41 - Extrait de l'Encyclopédie de l'Alsace (vol.8, 1984) : photo du château du Landskron et plan datant de 1764 (extrait du Burgenlexikon)

La géologie

Le soubassement de l'ensemble de la région au Nord de Leymen est formé par des marnes à intercalations sableuses, d'âge tertiaire, relativement peu aquifères, dites « Oligocène-Molasse alsacienne ». Au Sud, la commune se situe sur les premiers contreforts du Jura, dit « Jura alsacien », plissé et plus précisément au pied de « l'arc du Landskron » qui est formé d'un pli anticlinal de terrains jurassiques : Séquanien (j_7)

[29] Noël Graveline dans « l'Alsace : châteaux et demeures » Ed. et l'Encyclopédie de l'Alsace vol.8, 1984.

surmontant le Rauracien (j_{5-6}). Sur la bordure nord-est de l'arc (commune de Witterswil) les formations oligocènes affleurent (g)[30](*cf.* illustration 41, 42 et 43).

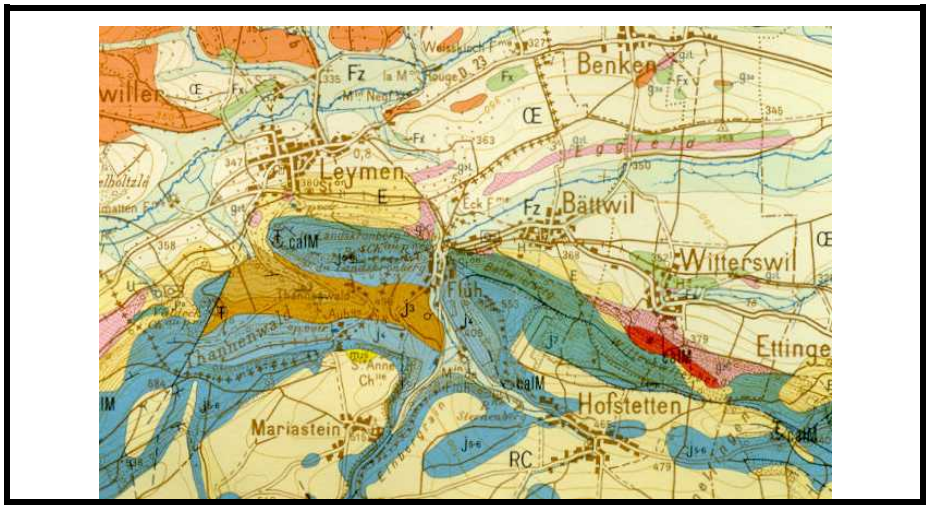


illustration 42 - Extrait de la carte géologique à 1/50 000 de Ferrette n°476.

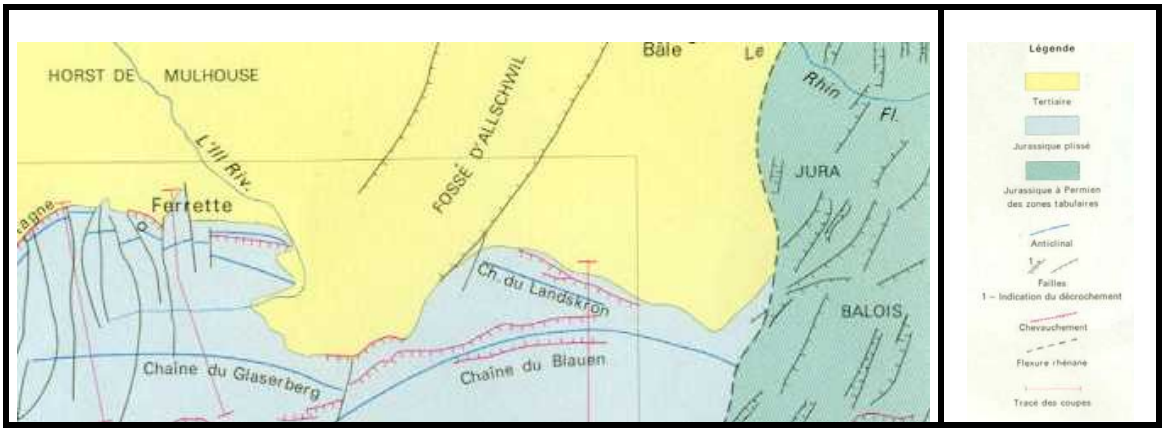


illustration 43 - Extrait du schéma tectonique à 1/400 000 tiré de la carte géologique à 1/50 000 de Ferrette n°476.

30 Von Eller J.P. (1984) - Guides géologiques régionaux « Alsace – Vosges ». Ed. Masson. et Carte Géologique au 1/50 000 de Ferrette n°476. Ed. BRGM.

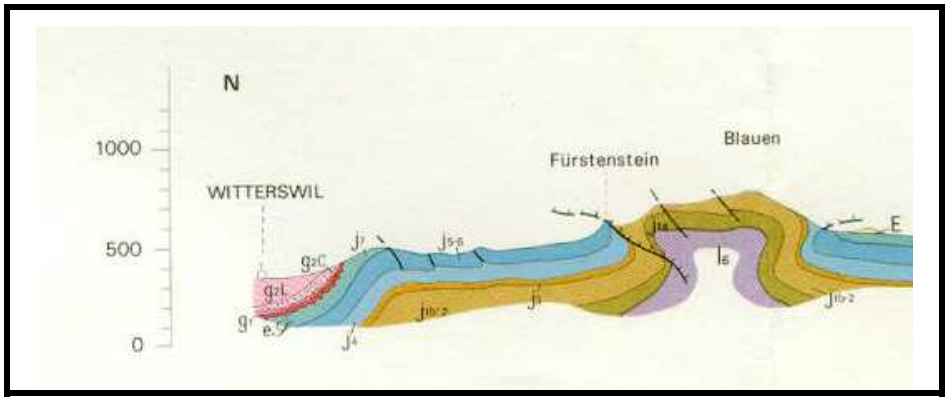


illustration 44 - Extrait de la coupe nord-sud passant par le chaînon du Landskron tiré de la carte géologique à 1/50 000 de Ferrette n°476.

Les calcaires « rauraciens » et « séquaniens » ont été exploités périodiquement notamment à l'ouest du chaînon du Landskron par des carrières qui desservaient les environs immédiats.

4.3.3. Observations

Le parcours emprunté par les visiteurs a été effectué dans son ensemble ainsi que la zone qui pose problème, afin d'évaluer les zones potentiellement dangereuses du point de vue de la stabilité des massifs rocheux servant d'assise aux constructions.

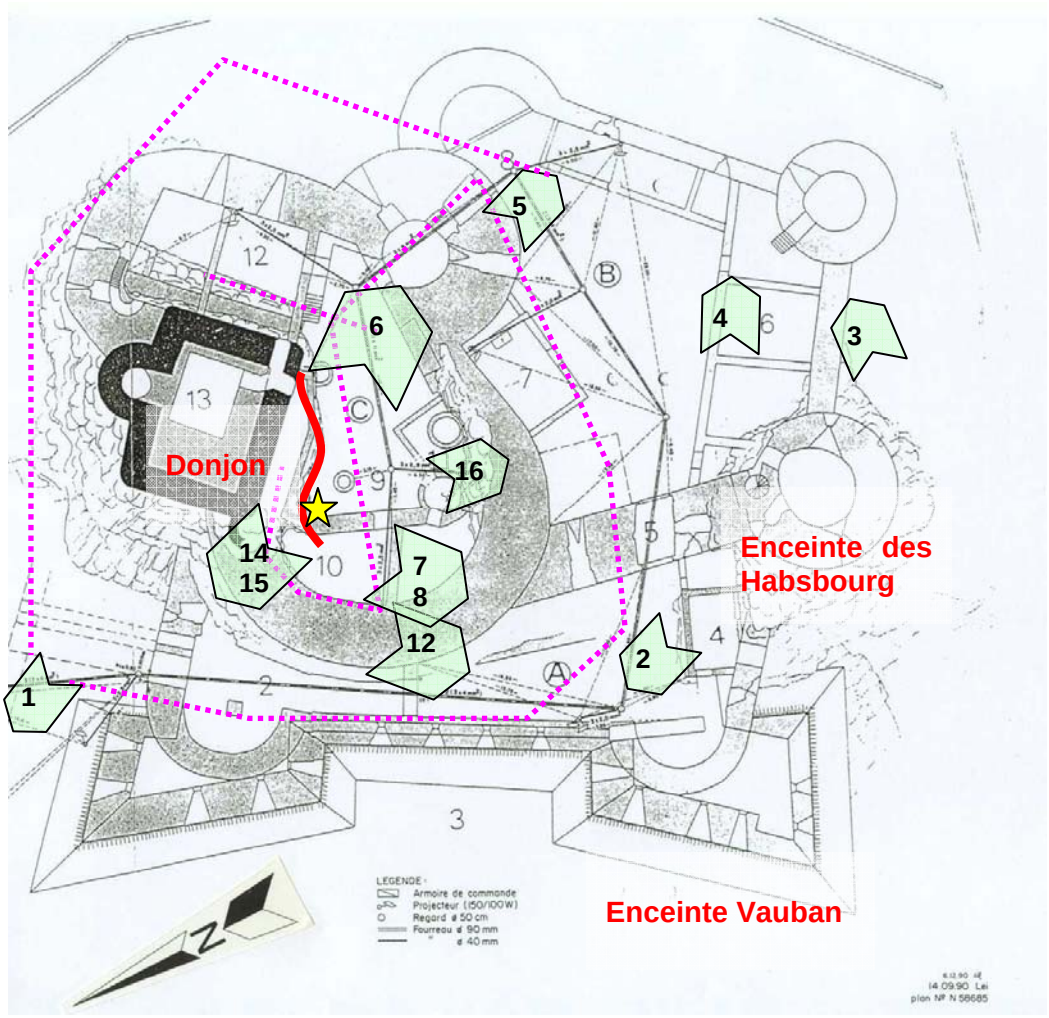


illustration 45 - Carte du château et localisation des observations

Itinéraire de la visite

Paroi en cause dans le détachement des blocs

Situation de la zone à traiter

Position de prise de vue des photos

Sens de la prise de vue

	Photo 1 Assise du donjon face à la porte d'entrée principale.

A l'entrée principale du château du Landskron, se dresse le donjon sur une assise de calcaire jurassique. Au pied du donjon, le massif présente de nombreuses diaclases mais l'assise est solide sans fragilité apparente. La végétation est régulièrement coupée ou arrachée.

	Photo 2 A l'intérieur du château, enceinte des Habsbourg construite en partie sur un massif calcaire. A gauche, porte d'accès à la cour basse.

A l'intérieur de la première enceinte, on distingue à l'affleurement d'autres massifs calcaires sur lesquels repose l'enceinte des Habsbourg (XVI ème siècle). Aucune observation ne permet de mettre en doute la stabilité de l'assise rocheuse. Un projet de consolidation de la porte d'accès à la cour basse (photo 2) est en cours.

Photo 3 Fossé entre l'enceinte des Habsbourg et celle de Vauban, vue depuis la cour basse.	***Photo 4*** Enceinte des Habsbourg et porte, vue depuis la cour basse.

Passé la porte massive traversant les fortifications, on arrive dans la cour basse. A gauche de la porte se trouvent encore des affleurements de calcaires, qui ne sont pas de nature à poser problème. A l'extérieur de l'enceinte, se trouve un fossé taillé à même la roche lors de l'édification des enceintes du château.

Photo 5 Depuis la cour basse, porte d'accès vers les anciens bâtiments au pied du donjon	***Photo 6*** Cour et courtine au pied du donjon. Paroi rocheuse qui pose problème à droite

Une porte habituellement fermée en dehors des heures d'ouverture donne accès à une cour dans laquelle se trouvent des vestiges de bâtiments anciens, un puits, une citerne et l'assise du piton rocheux sur lequel se dresse le donjon.

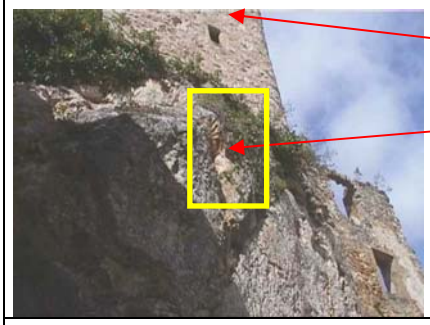


Photo 7

Au sommet de la paroi rocheuse, le donjon

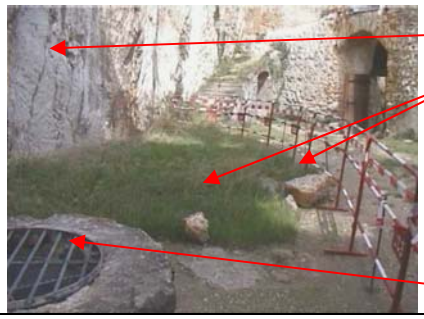


Photo 8

Au pied de la paroi rocheuse, la citerne permettant la récupération d'eau de pluie et les blocs tombés

Les barrières rouges et blanches balisent la zone située à l'aplomb de la paroi rocheuse de laquelle se sont détachés, courant juillet 2001, deux blocs, d'un poids total d'environ 100 à 150 kilos.

Photo 9

Paroi rocheuse donnant sur la cour accessible au public et de laquelle se sont détachés deux blocs.

La paroi rocheuse, se trouvant sous le chemin d'accès au donjon, est très diaclasée dans son ensemble. Haute d'une dizaine de mètres, elle présente une partie sommitale en surplomb et nettement plus fragilisée, d'où se sont détachés les blocs en question. A la base de la paroi, sous la partie sommitale, la roche présente également une fracturation importante dont il faudra également tenir compte lors des travaux de confortement.

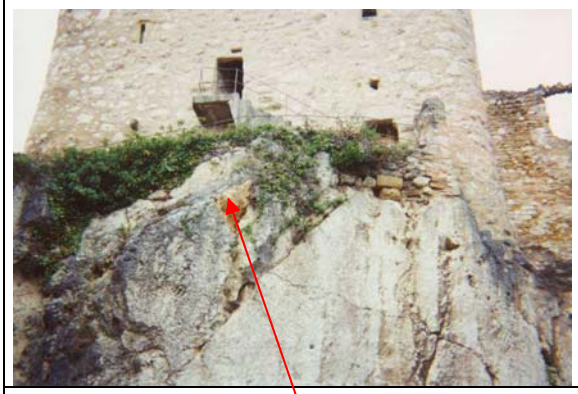


Photo 10 Partie sommitale de la paroi en surplomb d'où se sont détachés les blocs	***Photo 11*** Fracturation importante du massif rocheux sous la partie sommitale de la paroi en surplomb

Lors de la visite, l'accès à la partie sommitale n'a pas été possible pour des problèmes d'accessibilité et de sécurité ; il n'est donc pas possible de se rendre compte si d'autres blocs sont susceptibles de se détacher à court terme. De même, la stabilité de la base du chemin d'accès au donjon situé au dessus de la paroi rocheuse n'a pas pu être vérifiée à cause de l'accessibilité et de la végétation.

Photo 12 Escalier en colimaçon permettant l'accès au donjon.	***Photo 13*** Partie haute de l'escalier en colimaçon donnant sur une passerelle permettant l'accès au chemin surmontant la paroi rocheuse incriminée.

L'accès au donjon se fait, au fond de la cour en contournant légèrement le massif, par un escalier en colimaçon. La paroi rocheuse sous l'escalier présente des diaclases

comme la paroi se trouvant dans la cour. Au sommet de l'escalier en colimaçon, une passerelle donne accès au chemin de terre qui conduit aux portes du donjon.

Photo 14

Chemin d'accès aux portes du donjon

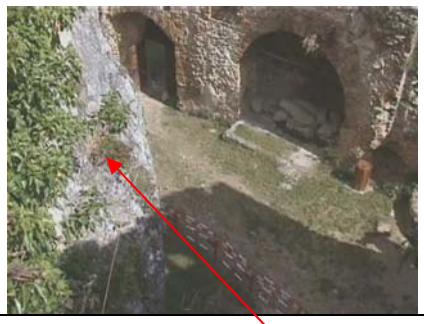


Photo 15

Partie sommitale de la paroi en surplomb sur la cour

Depuis le chemin on perçoit très bien la partie sommitale de la paroi en surplomb, d'où se sont détachés les blocs.

4.3.4. Recommandations

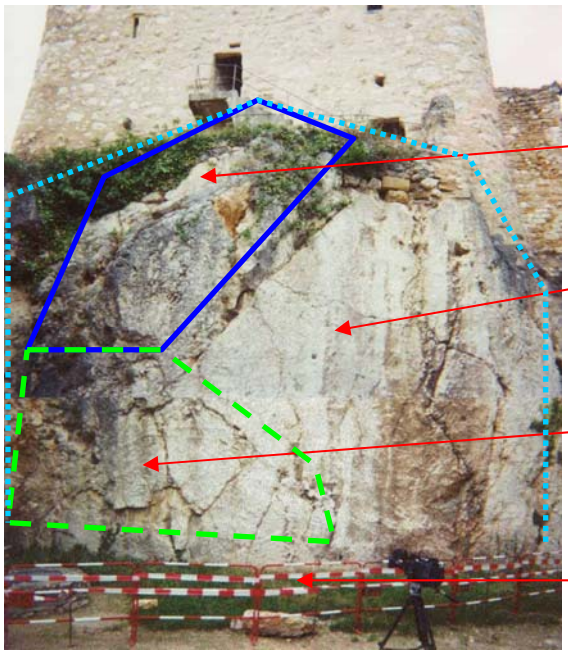


Photo 16

Paroi rocheuse surmontée du donjon

Purge des blocs susceptibles de se détacher de la partie sommitale en surplomb

Mise en place d'un filet métallique de protection contre les chutes de pierre

Renforcement du massif fracturé par un système de clouage

Création d'un barriérage fixe

Il est recommandé avant d'autoriser l'ouverture de la cour et de l'accès du donjon au public de procéder à des travaux de confortement de la paroi rocheuse d'où sont issus les blocs tombés début juillet.

Afin de garantir la sécurité à venir des personnes pénétrant dans l'enceinte, des travaux devront être engagés. Ils seront dimensionnés par un bureau d'étude spécialisé en géotechnique. Les principales actions consisteront à :

- purger les blocs en position instable susceptibles de se détacher à nouveau à court terme de la partie sommitale en surplomb. Il sera pris soin d'éviter la chute de blocs sur la citerne située juste en contre-bas ;
- renforcer l'équilibre des masses de pied pour la paroi particulièrement fracturée par un système de clous acier (implantés à 4-5 m de profondeur au perforateur et fixés par un coulis béton) ;
- mettre en place un filet métallique afin de contenir à l'avenir les éventuelles chutes de blocs à un domaine situé juste à l'aplomb de la paroi ;
- installer un barriérage fixe de la zone située à l'aplomb de la paroi afin d'empêcher l'accès du public à proximité ;
- pratiquer, à l'occasion des travaux de confortement qui auront lieu, une observation détaillée (vérification de la stabilité) de la base du chemin d'accès au donjon qui se situe juste au-dessus de la paroi ainsi que de l'assise de l'escalier et de la passerelle qui mènent au chemin.

4.3.5. Conclusions

Suite au détachement d'un bloc rocheux d'une paroi se trouvant à l'aplomb des portes donnant accès au donjon du château du Landskron à Leymen, le BRGM a effectué le 10 septembre 2001 une visite du site en compagnie de Madame Danièle Ott, présidente de l'association « Pro Landskron », de Monsieur Edouard Spielmann (vice-président de l'association), de Monsieur Max Wyss (membre actif), ainsi qu'une équipe de journalistes de la presse locale.

Les blocs incriminés se sont détachés de la partie sommitale en surplomb très diaclasée et fragilisée sous l'action de périodes de gel/dégel et des infiltrations d'eau. Ce phénomène naturel conduit à l'érosion des roches dans la plupart des massifs rocheux, après fracturation et chute des blocs désolidarisés de la roche saine.

Depuis l'ouverture à la visite du château du Landskron, il n'a été observé aucun phénomène de ce type. Les massifs rocheux sur lesquels sont construits les bâtiments n'ont fait l'objet d'aucuns travaux de confortement.

Les bâtiments anciens situés à proximité de la paroi en question ont fait l'objet de travaux de restauration importants et récents (1984 pour le donjon). Extérieurement le donjon édifié sur le piton rocheux ne présente aucune fissuration indiquant des mouvements possibles de la structure sur les fondations.

Sur le site du Landskron, l'érosion de la paroi avec détachement de blocs est un phénomène localisé. L'ensemble des autres affleurements situés dans l'enceinte du château a fait l'objet d'une observation visuelle succincte et ne présente pas de risque particulier concernant le détachement de blocs.

Afin de sécuriser le site et d'autoriser l'ouverture au public, des travaux de consolidation de la paroi donnant sur la cour située en contrebas de l'accès au donjon devront rapidement être effectués ainsi que la mise en place d'un barriérage fixe à l'emplacement de l'actuel balisage provisoire (zone enherbée comprenant également la citerne).

Des recommandations spécifiques à l'usage des visiteurs autorisés ou non à pénétrer dans le château devront être réalisées.

5. Les effondrements/ affaissements

5.1. GENERALITES

Les affaissements de grande extension se traduisent par une vaste dépression topographique de faible profondeur. Ces phénomènes peuvent être la conséquence de pompages de produits solubles (sel), d'extraction de matières solides (carrière ou mines profondes). Le vide en profondeur est compensé par des formations superficielles souples qui amortissent la déformation.

Les effondrements se réalisent de façon soudaine et donnent une dépression aux bords quasi verticaux, plus ou moins circulaire en surface. Ils peuvent être le résultat de l'évolution naturelle des vides en profondeur, par dissolution naturelle de roches carbonatées ou évaporitiques, ou celle mal contrôlée de carrière ou de mines souterraines (comme les fontis).

illustration 46 - exemple d'effondrement dans le jardin d'un particulier (extrait de www.bdmvt.net)

Les communes concernées en Alsace par les effondrements sont Achenheim, Rothau et Oberhaslach pour le Bas-Rhin et Bisel, Kappelen et Steinbach pour le Haut-Rhin.

Les désordres liés aux ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté urbaine de Strasbourg (surtout d'anciennes caves de brasseries creusées dans le loess), font l'objet d'un programme spécifique d'inventaire, de diagnostic et de gestion des risques depuis 1996. (Daesslé et Messin, 1996 ; Daesslé, 1998 b ; Chabart et Messin, 1999b, 1999c ; Chabart, 2001b ; Vial et Chabart, 2002 ; Cruz Mermy et Elsass, 2004 ; Cruz Mermy 2006).

Un programme analogue a été lancé sur les anciennes carrières souterraines de loess de la ville de Pfastatt en 2006 (Vouaux *et al.*, 2006b).

5.2. EFFONDREMENT DE SOL AVEC FONTIS A OBERHASLACH (67) EN 1998

Référence : Materne Daesslé (1998a).

5.2.1. Situation

Un effondrement de sol, sous forme d'un fontis, a été signalé le 24 janvier 1998. Il se situe dans un talus au fond d'une des cours de l'école maternelle de la commune d'Oberhaslach. A partir d'un orifice de 60 cm de diamètre, on aperçoit une cavité qui se développe sur 3 à 4 m de profondeur et apparemment sur une largeur égale. Il est fortement probable que cet effondrement résulte de circulations d'eaux souterraines qui ont sapé les terrains.

En effet Oberhaslach se place, du point de vue géologique, dans le domaine des formations du champ de fractures de la bordure des Vosges. En particulier au niveau du fontis, des calcaires sous des colluvions limono-argileux sont susceptibles de drainer les eaux, dans un système de karsts ou de paléovallée. Les massifs gréseux voisins, séparés des calcaires par une faille, sont un important réservoir aquifère d'où émergent de nombreuses sources, en particulier celles captées pour l'alimentation en eau des collectivités.

Outre la présente manifestation de ces écoulements, de fréquents désordres se sont manifestés dans le secteur de la mairie et de l'école ainsi qu'en amont : caves inondées, remontées d'eau sous pression sous les pavés de la route et dans la cabine téléphonique, ravines et dolines... Des études (BRGM et ANTEA) ont été menées dans le but de maîtriser et canaliser les écoulements du Ringelsbaechel. Ce ruisseau a un écoulement libre dans les grès du massif montagneux, puis il se perd **dans une doline et l'écoulement devient souterrain dans tout le vallon** au-dessus du village. Il resurgit en contrebas de la mairie pour gagner la Hasel.

5.2.2. Recommandations

Le récent fontis s'intègre dans la problématique générale des manifestations hydrauliques souterraines ; il est recommandé, par mesure de sécurité et d'assainissement du secteur, de reconnaître au mieux le sous-sol et de prévenir les éventuels désordres.

Traitement du fontis

En l'état actuel l'effondrement ne présente qu'un faible risque d'extension, néanmoins il convient d'en interdire l'approche à toute personne non autorisée. Cette partie de cour de l'école devra être interdite à tout enfant.

Dans les meilleurs délais il convient de combler la cavité. Toutefois préalablement à cette opération une investigation par affouillement, décaissement et/ou par sondages

afin de reconnaître la nature des sols, les caractéristiques et l'extension du fontis est nécessaire. Ces travaux devraient être réalisé dans les règles de l'art et de sécurité avec un suivi de spécialiste.

Lors de l'obturation, des drains ou des matériaux drainants devraient être mis en place de façon à ne pas créer un obstacle à des écoulements souterrains.

Traitement général

L'assainissement de la zone avec la dérivation des écoulements du Ringelsbaechel vers les canalisations récemment posées doit être poursuivi avec leur "mise en eau".

Au niveau de l'école, en particulier dans tous les espaces non construits, des reconnaissances d'éventuelles cavités et/ou karsts sont fortement conseillées. Selon les résultats, en particulier la mise en évidence de cavités à risque d'éboulement, des traitements appropriés pourront être élaborés afin de sécuriser la cour de l'école.

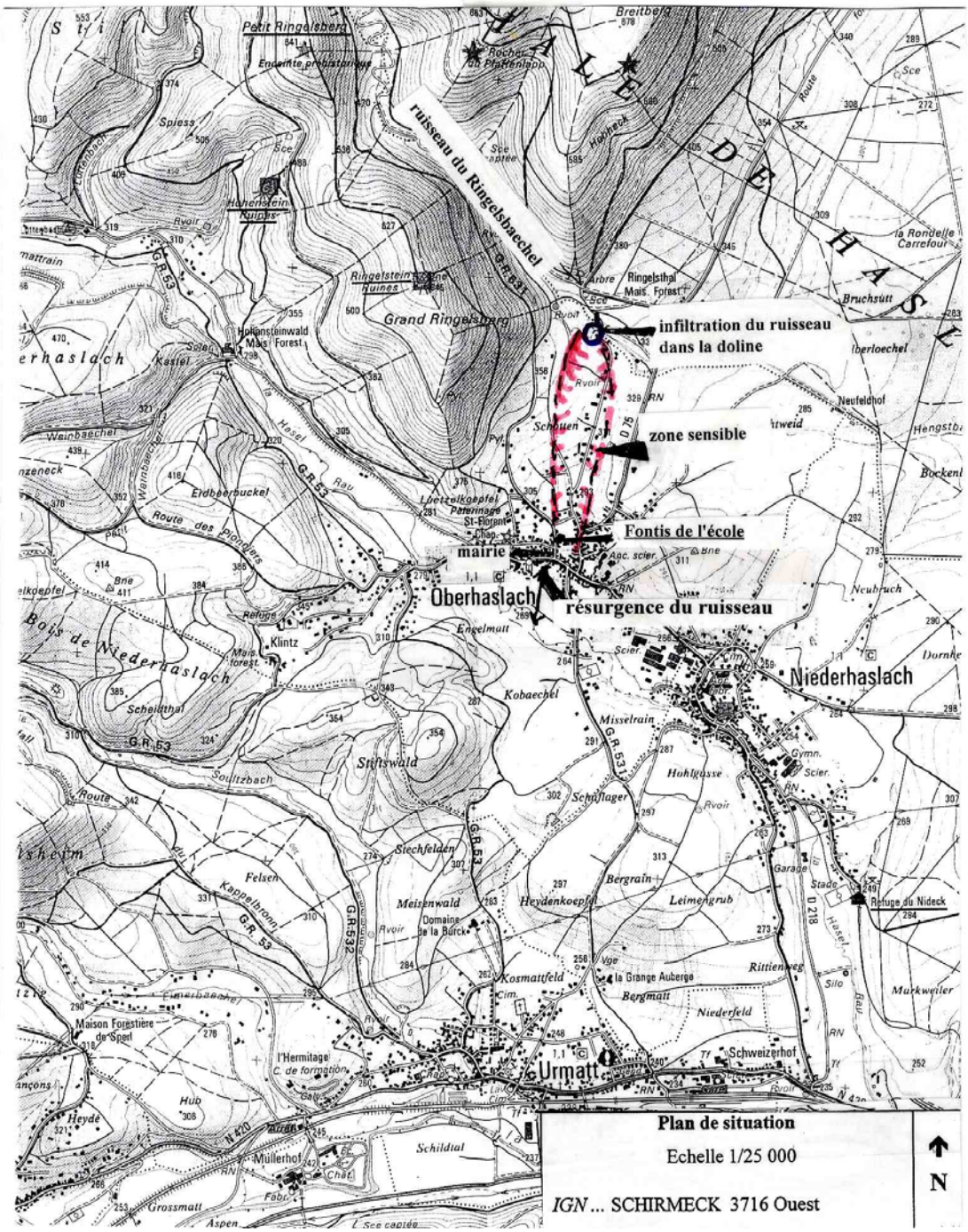


illustration 47 - Oberhaslach (67), effondrement de sol du 24/01/1998
Plan de situation

illustration 48 - Effondrement de dol avec fontis à l'école maternelle d'Oberhaslach (67)
Fontis dans le talus au fond de la cour ; ouverture de 60 cm de diamètre environ

illustration 49 - Fontis dans le talus ; aperçu du fond de la cavité et/ou des parois latérales

illustration 50 - Vue générale du site de l'effondrement

illustration 51 - Oberhaslach : affleurement des calcaires à Cératites du Muschelkalk

5.3. AFFAISSEMENT A BISEL (68) EN 1999

Référence : Murielle Chabart, (1999)

5.3.1. Observations

Depuis 1995, plusieurs effondrements ont été constatés sur la commune de Bisel (*cf.* planches photographiques suivantes). M. Goepfert, Maire de Bisel, a tenu à en informer M. Herment, Secrétaire Général de la Sous-Préfecture d'Altkirch.

Profitant d'une visite dans la commune voisine d'Ueberstrass, un rendez-vous a été mis au point le 10 avril 1999 pour que nous puissions prendre connaissance des phénomènes en question.

Sur les trois événements inventoriés, le plus récent est encore visible. Il s'agit d'une cavité de 50 x 50 cm située à l'aplomb d'un mur paysagé soutenant un talus enherbé à proximité immédiate d'une maison (3 à 5 m). Cette cavité est apparemment profonde de 4,5 m.

Le propriétaire M. Chaboute Luc (demeurant au 9, rue de Moernach, 68580 Bisel, tél. 03.89.07.62.42) a constaté son ouverture après les fortes précipitations qui ont affecté la commune en février 1999. Les dégâts liés aux inondations sont encore visibles dans la rue.

A proximité on remarque l'existence d'un bunker accessible à partir de la rue de Moernach. Il est constitué d'une pièce dont l'extension à l'ouest a été remblayée.

Les témoignages des riverains concordent pour confirmer l'existence d'un réseau de galeries souterraines entre bunkers (il en existe un deuxième rue Herbrig). La cavité créée au droit de la propriété de M. Chaboute pourrait correspondre à un ancien conduit d'aération.

5.3.2. Conclusions, recommandations

Le fontis, qui s'est ouvert au droit de la propriété de M. Chaboute, correspond très vraisemblablement à l'ouverture ou au « débourrage » d'un ouvrage militaire ancien. Les témoignages tendent à confirmer cette hypothèse.

Pour éviter tout accident lié à ce type de phénomène, il convient :

- d'identifier les réseaux à partir de témoignages, d'archives ;
- de visiter ce qui est accessible et formuler un diagnostic sur la tenue des ouvrages ;
- de mettre en œuvre les moyens de sécurité correspondants (remblaiement, soutènement, neutralisation, etc…).

Ces recherches devront donc être particulièrement centrées dans un premier temps sur la propriété Chaboute, ce qui pourrait conduire ensuite à un dégagement des orifices pour mener à bien un examen de la partie souterraine.

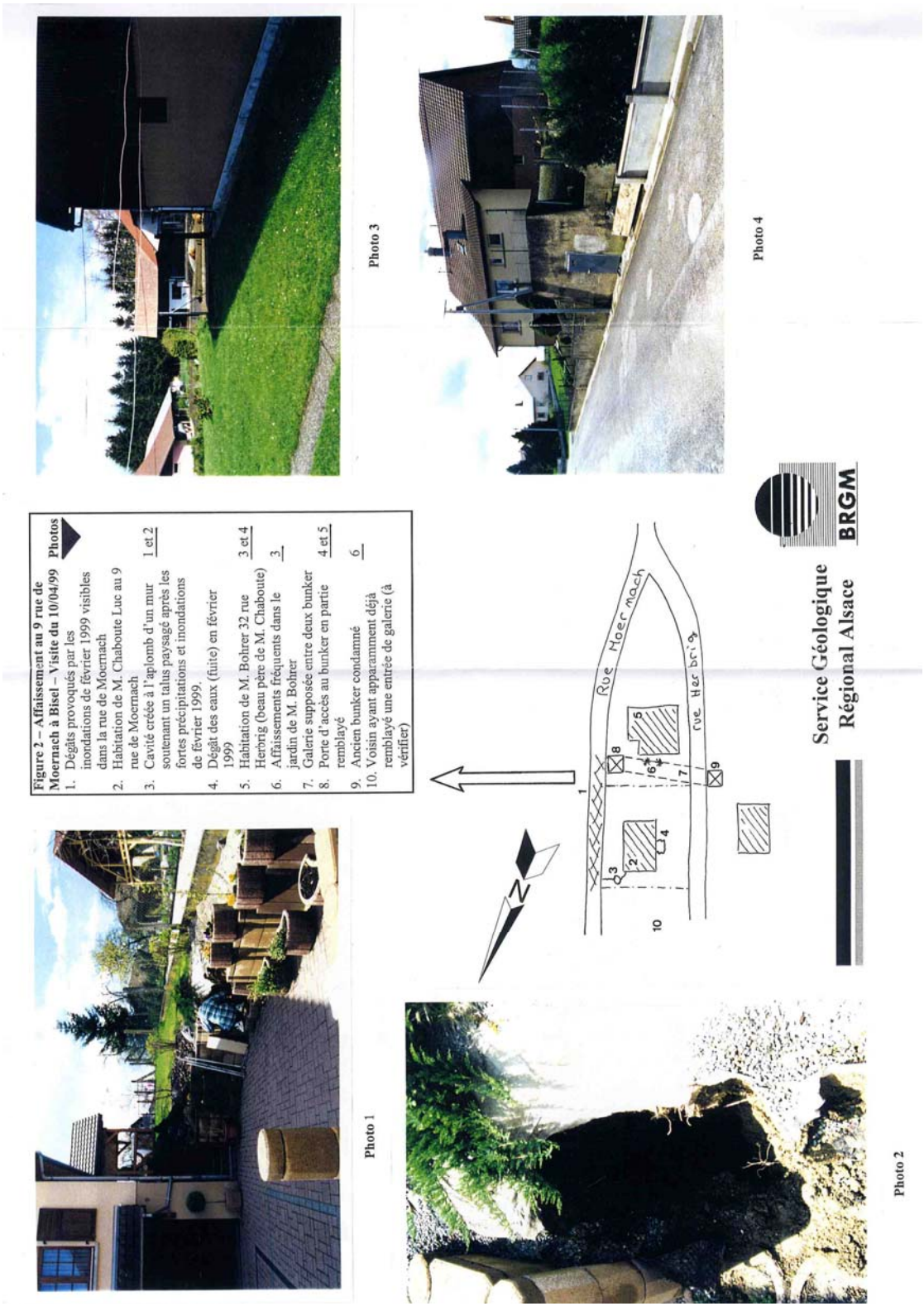


illustration 52 - Schéma de l'affaissement au 9 rue Moernach

Planches photographiques d'affaissement sur la commune de Bisel

Photo n° 1 : Le site de l'effondrement sur la propriété de Mr CHABOUTE

Photo n° 2 : Test sur la profondeur de l'effondrement

Photo n° 3 : L'effondrement et sa profondeur

Photo n° 4 : L'effondrement lui-même

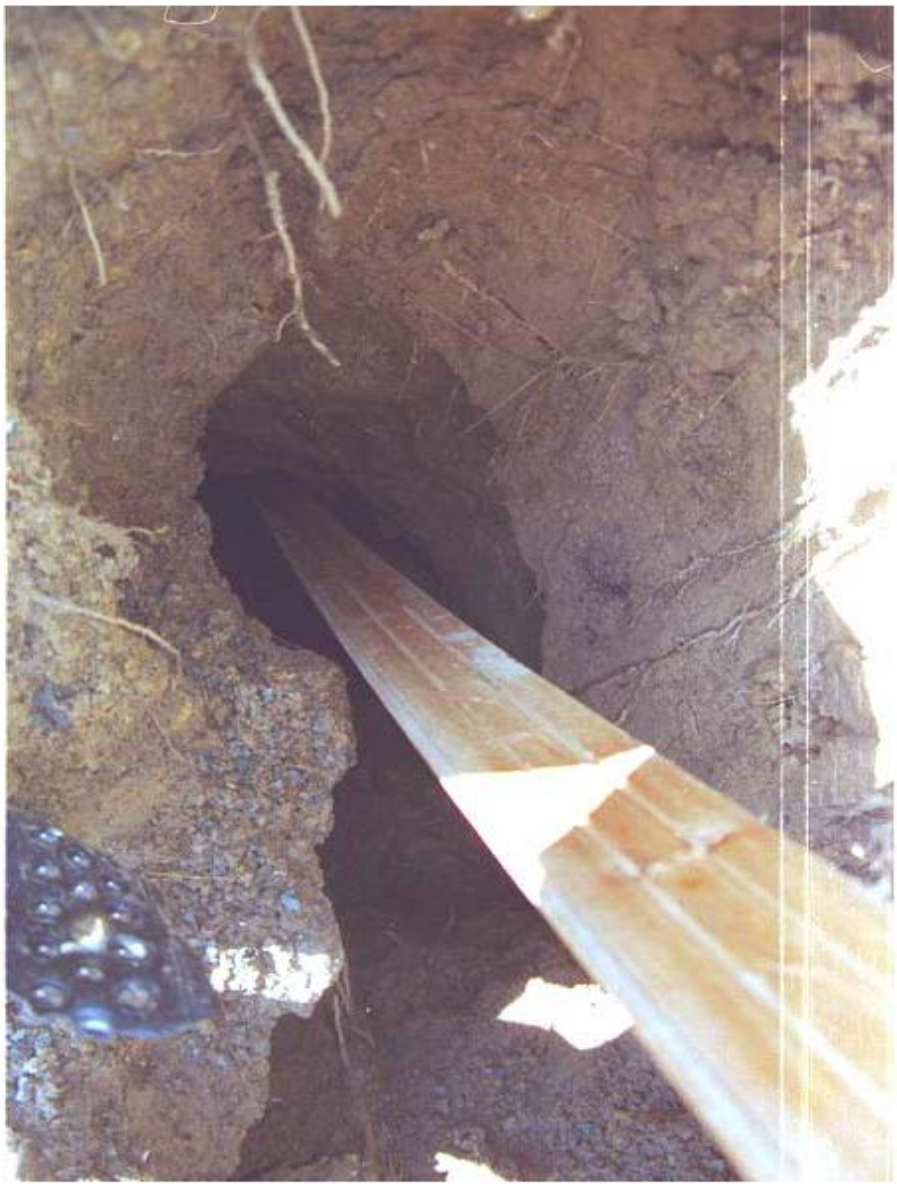


Photo n° 5 : Détail de l'effondrement

Photos n° 6 et 7 : L'entrée d 'un bunker dans le voisinage de l'effondrement constaté

Photo n° 8 : Le fond effondré de ce bunker

5.4. EFFONDREMENT A ROTHAU (67) EN 2000

Références : Philippe Elsass (2000a) et André Vial (2000).

Suite à une demande de la Protection civile du Bas-Rhin (SIRACEDPC N°626/00), le BRGM est intervenu dans un premier temps pour effectuer un diagnostic sur la propriété de M. Wendenbaum les 3-4 août 2000 au 4 rue du Maréchal à Rothau (Bas-Rhin). M. Wendenbaum avait en effet découvert un effondrement (fontis) dans son jardin potager à environ 8 m de sa maison d'habitation (*cf.* courrier de M. Wendenbaum du 31 juillet 2000, illustration 53). M. Wendenbaum signalait également l'existence d'une galerie minière à proximité, Rothau était en effet connu autrefois comme champ de filons de fer (illustration 54). Des travaux ont été recommandés pour permettre la stabilisation des terrains et pour pénétrer dans l'ancien travers-banc minier sous-jacent afin d'examiner son état. Une deuxième intervention a été organisée dont l'objectif était d'une part d'examiner ces travaux et d'autre part de localiser d'autres effondrements connus dans la commune de Rothau.

5.4.1. Visite du 3 août 2000

Présents : Mlle Chabart, M. Elsass (BRGM), M. Wendenbaum (propriétaire)

Lors de cette première visite nous avons pu faire les constatations suivantes : les habitations sont construites le long de la rue du Maréchal sur un terrain en forte pente (20% d'après la carte à 1/25 000). La maison de M. Wendenbaum est une maison à 1 étage datant de 1820 et réaménagée depuis avec une véranda et un balcon. Le jardin potager où se trouve la cavité est situé topographiquement au-dessus de la maison. La maison d'habitation située sur la propriété voisine est située topographiquement au-dessus du potager. En contrebas de la propriété, en face de la maison sise au n° 3 rue du Maréchal (maison à 2 étages datant également de 1820 d'après son propriétaire et rehaussée d'un étage) se trouve une ruelle menant aux prés situés au-dessus du temple protestant donnant sur la Grand'rue au Sud. En contrebas de la ruelle, dans l'arrière-cour du restaurant (restaurant Quelles, propriétaire M. Neuhauser Pierre tél. 03 88 97 06 81), un escarpement de 6 m est soutenu par un épais mur de béton qui correspondrait d'après les habitants à une ancienne galerie de mine murée (illustration 56). Il y aurait d'ailleurs déjà eu un effondrement dans une maison située plus haut sur la pente (en haut de la côte, 2^{e} maison à gauche).

La région de Rothau est connue pour ses mines de fer filoniennes exploitées au début du 19^{e} siècle par de Dietrich. Les filons orientés NE-SW étaient souvent atteints par des travers-bancs perpendiculaires partant à flanc de coteau. Cependant les publications de gîtologie et d'archéologie minière ne signalent pas de filon assez proche pour être à portée d'un travers-bancs à cet endroit : le filon des Hussards par exemple se situait à près de 900 m, ce qui paraît une distance trop grande par rapport aux travaux miniers de l'époque (illustration 54). Par contre une carte de 1806 semble signaler un filon proche de Rothau qui pourrait être le filon recherché par le travers-bancs (illustration 55).

L'effondrement présente une ouverture ronde de 50 cm de diamètre environ et ouvre sur une large cavité souterraine dans des terrains peu consolidés recouverts de 25 cm de terre arable. La reconnaissance de cette cavité nécessitant des moyens d'investigation adéquats, nous avons fait appel au Secours Spéléologique Français (SSF).

5.4.2. Visite du 4 août

Présents : M. Elsass (BRGM), M. Lippart (SSF), M. Wendenbaum (propriétaire), M. Moog (Assurances Rhin et Moselle)

Le SSF est intervenu avec 2 conseillers techniques disposant d'équipement spéléologique. Ils ont visité la cavité et noté ses dimensions. D'après leur description, il s'agit d'une cloche ouverte dans des formations argileuses à blocs peu consolidées, de forme elliptique (environ 8 m sur 4) et d'axe N 112°, de profondeur 6 m environ, remplie d'un cône de matériaux éboulés, et se prolongeant au SW par un boyau de 30 à 40 cm de hauteur d'une longueur présumée de 5 à 6 m. Les parois du fontis sont peu stables.

Un report sur une coupe interprétative (illustration 56) indique qu'il pourrait s'agir d'un fontis dû à l'effondrement du toit du travers-bancs signalé par les habitants. Il paraît par contre surprenant que l'on n'ait pas rencontré de roches en place : le travers-bancs a peut-être été creusé dans des formations de pente, ce qui expliquerait sa mauvaise tenue.

Lorsque l'on reporte le tracé supposé du travers-bancs sur un plan, on constate que l'on est obligé de faire un coude pour rejoindre le massif béton représentant le départ présumé du travers-bancs (illustration 57). Le tracé supposé passe sous les jardins et évite les maisons : on peut présumer que les maisons anciennes du début du 19^{e} siècle ont été construites en tenant compte de l'existence de la galerie.

5.4.3. Visite du 12 septembre 2000

Présents : M. Vial (BRGM), M. Maire (maire de la commune de Rothau), MM. Simoni et Malaise (adjoints de la commune de Rothau), M. Conédéra (employé municipal), plus tard Mme Wendenbaum (propriétaire du jardin avec fontis d'effondrement)

Excavation du mur obturant l'entrée de la galerie minière

L'entrée de la galerie se situe dans l'arrière-cour du restaurant Quelles (propriétaire M. Neuhauser Pierre tél. 03 88 97 06 81) donnant sur la Grand'rue face à la mairie de Rothau (illustration 57). Un escarpement de 6 m y est soutenu par un épais mur de béton. La partie nord de ce mur, massive (en béton ferraillé d'environ 40 cm d'épaisseur construit après 1960), est renforcée par deux traverses de fer qui prennent appui sur la façade arrière du restaurant à hauteur du premier étage. La localisation exacte de l'entrée de la galerie est immédiatement au sud de cette partie renforcée à environ 1,2 m en dessus du niveau de la cour dans une partie du mur légèrement en

retrait (*cf.* **photo 1**). Cette position est connue assez précisément car la cour était le lieu de passage obligé pour accéder au cinéma du village localisé au premier étage du restaurant dans les années 1945-1950 (témoignages de MM. Maire et Simoni).

Le mur a été percé sur un diamètre de un mètre et une profondeur de 50 cm. Le mur est en pierres bien assemblées de 15 à 20 cm d'épaisseur, avec ici et là quelques briquettes rouges, le tout revêtu de ciment (*cf.* **photo 2**). L'arrière du mur est remblayé de blocs de pierre assez soigneusement accumulés (dimension approximative des blocs 10x5x20 cm). Ce remblai comporte une certaine proportion de terre argileuse rouge qui laisse subsister de nombreux vides (10 à 25 % du volume). Les blocs s'enlèvent facilement mais pour ouvrir plus profondément il serait nécessaire d'étayer l'excavation à venir de façon à éviter des chutes de blocs, l'effondrement de l'escarpement et de la ruelle au-dessus. En l'état il n'est guère possible d'aller plus loin sans prendre des risques. En complément de ces informations, M. Simoni signale que l'entrée était très visible vers 1945-1950 bien que partiellement recouverte de broussailles ; à l'arrière de ces broussailles (1m vers l'intérieur environ) **un éboulement obturait totalement la galerie**.

Au sommet de l'excavation pratiquée les blocs sont parfaitement secs. L'argile montre des traces d'humidité au-dessous du bas de l'excavation à environ 1 m du sol. Ceci démontre que les auteurs des travaux (date 1955 ?) ont remblayé une cavité existante, l'entrée de galerie probablement, en prenant soin de permettre un bon drainage de l'escarpement limitant l'Est de la cour. A l'appui de ces constatations le gérant du restaurant témoigne que par les trois drains situés au bas de cette partie de mur (orifices d'environ 60/80 mm de diamètre) l'eau s'écoule après quelques journées de pluie. Ces écoulements s'avèrent parfois importants et une canalisation de 10 cm de diamètre installée au centre de la cour permet de les évacuer. Les autres drains situés sur la partie de mur renforcée restent pratiquement toujours secs.

L'ensemble de ces constatations et témoignages montre que l'excavation est située sur l'entrée de la galerie, au pire en bordure de celle-ci.

Cette galerie devait fonctionner comme un drain à l'intérieur de la colline malgré l'effondrement obturant son entrée, comme en témoignent les écoulements signalés par les observateurs, du moins jusqu'à l'éboulement du début août 2000 dans le jardin du 4 de la rue Maréchal.

Du fait de cet effondrement de l'entrée de la galerie il n'apparaît pas opportun de continuer l'avancement de l'excavation. Cette continuation des travaux serait difficile, coûteuse du fait de l'obligation d'étayer les travaux, mais aussi dangereuse dans la mesure où elle menacerait la stabilité des terrains environnants. Ces travaux ne pourraient être faits que par une société spécialisée dans ce genre d'opérations.

Amont de la galerie en surface entre l'entrée de la galerie et l'effondrement dans le jardin de M. et Mme Wendenbaum

La ruelle menant aux prés situés au-dessus du temple protestant donnant sur la Grand'rue au Sud ne montre aucune trace d'effondrement, ce qui est naturel car les

travaux de confortement derrière le restaurant sont relativement récents. Par contre la parcelle située derrière cette ruelle présente un petit ensellement E-O dans la pente le long du muret au Nord-est de la parcelle. Le tronc d'arbre fruitier à l'intérieur de cette structure présente une forte inclinaison (*cf.* **photos 3 et 4**). Mme Wendenbaum, à qui appartient la parcelle (prolongement SO en pré de son jardin) indique qu'il a été nécessaire de remblayer faiblement cet endroit à plusieurs reprises dans le passé, de même qu'il a fallu soutenir et redresser l'arbre plusieurs fois. Un if tout proche de 20 ans d'âge, très près de la verticale de l'entrée de galerie est lui parfaitement vertical (*cf.* **photo 3**).

Il semble probable que la galerie se soit lentement affaissée et au moins en partie effondrée entre son entrée et l'effondrement actuel du début août (illustration 58). Ceci correspond au témoignage quant à l'éboulement de l'entrée de la galerie et apporte des arguments supplémentaires pour abandonner la tentative de réouverture de la galerie sous-jacente.

Effondrement du 4 de la rue Maréchal

Lors de notre passage le 12/09/2000 le fontis d'effondrement ne présentait aucun signe d'évolution négative. La partie visible du sommet du fontis ne montrait aucune craquelure, attestant que les terrains sont stables pour le moment (*cf.* **photos 5 et 6**).

Localisation des autres effondrements connus sur cette colline de la commune de Rothau

M. Simoni, adjoint au maire de la municipalité de Rothau chargé des travaux de génie civil, n'a pu fournir qu'une localisation imprécise des effondrements. En effet ces effondrements se sont produits au cours de travaux soit de construction soit d'adduction d'eau. Ils n'ont été rapportés par les entrepreneurs concernés qu'après comblement des effondrements et achèvement des travaux commencés.

L'effondrement le plus proche a pris place dans le sous-sol de la cité HLM située à l'ESE du fontis actuel, rue Dite Entre Les Deux Murs. Les quatre bâtiments de la cité occupent une surface assez vaste mais il est raisonnable d'assumer que l'effondrement se situe au-dessus du même travers-banc (*cf.* illustration 56, illustration 57 et **photo 7**).

L'effondrement suivant se situe immédiatement à l'ESE de la cité HLM, rue du Haut Bout au niveau de l'intersection permettant de rejoindre la rue Dite Entre Les Deux Murs, le long de la cité HLM. Placer ce site à la verticale du travers-banc ci-dessus impliquerait un virage assez fort sur le parcours de ce dernier. Une galerie en allongement de direction SSO vers NNE, voire une exploitation sur filon de minerai de fer serait une meilleure explication car elle permettrait de le relier à l'effondrement suivant (*cf.* illustration 58 et **photo 8**).

Un effondrement s'est produit sous une maison ancienne et a obligé à la rebâtir complètement au 14 rue du Haut Bout, 60 m au SSO de l'effondrement ci-dessus vers 1980 (*cf.* illustration 58 et **photo 9**).

Un dernier effondrement a eu lieu dans les années 1945-1950 dans un des champs tout en haut du village, entre le village et la bordure de la forêt, tout près de l'ancien bassin d'accumulation de l'adduction d'eau du village. L'effondrement s'était produit au passage d'un fermier labourant le champ avec deux chevaux. Il se situe globalement dans la direction générale du travers-banc. Des travaux d'exploitation le long d'un filon de direction SSO-NNE sont probablement à l'origine de l'effondrement, provoquée peut-être par des pertes d'eau au voisinage du bassin d'accumulation alors en utilisation (*cf.* illustration 58 et **photo 10**).

5.4.4. Conclusions

Visite du 3-4 août 2000
La cavité apparue dans la propriété de M. Wendenbaum est un fontis dont l'origine est probablement due à des infiltrations d'eau dans d'anciens travaux miniers. La maison d'habitation située sur la propriété voisine, topographiquement au dessus du potager, présente un défaut d'évacuation des eaux pluviales (gouttière percée) qui a pu induire des infiltrations d'eau importantes au cours des fortes pluies de ces dernières semaines. Ce fontis est instable à court terme et risque de s'ébouler en créant des dégâts à la propriété et aux personnes. La maison d'habitation pourrait éventuellement être menacée à terme par la progression des éboulements. D'après les indications recueillies et notamment la géométrie de l'effondrement, le massif et les sols de fondation de la maison ne devraient pas être influencés par la cavité qui est apparue. Il s'agit cependant d'un équilibre précaire qui peut être remis en cause par des écoulements souterrains ou superficiels provenant d'épisodes pluvieux notables. Un comblement immédiat sans obturation de la galerie souterraine ne résoudrait pas le problème à long terme. En effet les causes ayant provoqué le fontis et que nous ne connaissons pas exactement provoqueraient à plus ou moins long terme une reprise du fontis et les matériaux éboulés, foisonnés, pourraient continuer à s'épandre dans la galerie sous l'action des eaux.

Visite du 12 septembre 2000
Les observations rapportées lors de cette visite confirment et renforcent les conclusions émises par Ph. Elsass dans son compte-rendu d'intervention du 3-4 août 2000. Il existe un réseau de galeries (travers-bancs, allongements) et peut-être de dépilages qui s'est lentement effondré (ou comblé) en partie au cours des 150 dernières années. Mais il subsiste des zones de galeries "ouvertes" qui s'effondrent soudainement lorsque l'on effectue des travaux à leur verticale ou lorsqu'il se produit des infiltrations d'eau importantes. Apparemment le travers-banc débouchant dans l'arrière cour du restaurant Quelles, Grand'Rue de Rothau a fonctionné jusqu'à présent en drain plus ou moins actif de la colline sur laquelle une partie du village de Rothau est construite. Ceci est un fait très positif dans les formations superficielles peu consolidées qui constituent le sous-sol d'une partie de la colline située sous le village de Rothau.

Il faudrait pour éviter les risques à long terme prendre les mesures suivantes :

1. rechercher les sources potentielles d'infiltrations d'eau en amont et au niveau de la propriété (rejets d'eaux pluviales, assainissements défectueux, …) et les canaliser ;

2. renforcer par deux nouveaux drains les conduits de drainage des eaux d'infiltration à l'entrée du travers-banc au-dessus des trois drains existant, à une hauteur de 80 cm ;
3. procéder au remblayage du fontis de la propriété de M. et Mme Wendenbaum avec des graviers calibrés relativement petits (20 mm) pour faciliter le comblement total du fontis et l'évacuation des eaux d'infiltration via l'ancienne galerie ;
4. effectuer des recherches plus poussées en archives et continuer la reconnaissance de terrain sur le tracé supposé des travaux miniers afin d'identifier d'autres risques éventuels.

Les anciens travaux miniers supposés ne semblent pas correspondre à un titre minier, aussi l'Administration des Mines ne peut-elle être mise en cause. Les risques présentés par ces anciens travaux relèvent en ce cas de la police du Maire. Le BRGM pour sa part peut effectuer les recherches citées au point 4 dans le cadre de l'inventaire-diagnostic des anciens travaux miniers d'Alsace que lui a confié la DRIRE.

Jean-Marie WENDENBAUM
4, rue du Maréchal
67570 ROTHAU
Tél. 03.88.97.13.97
Fax 03.88.47.13.02

Rothau, le 31 Juillet 2000

Monsieur le Directeur du Service de la Protection Civile
PREFECTURE DU BAS-RHIN
5, Place de la République
67000 STRASBOURG

Monsieur le Directeur,

Ce matin, en désherbant mon potager à l'adresse précitée, j'ai senti mes jambes se dérober et je me suis trouvé coincé à hauteur de la taille. Après avoir réussi, sans dommage, à me dégager, je me suis approché du trou qui venait de se former sous mes pieds.

Et là, j'ai découvert la présence d'un vide mesurant approximativement 5 x3 m et d'une profondeur estimée à env. 2,5 m. Une mince couche de terre d'environ 25 cm forme la voûte de cette cavité.

Je suis immédiatement allé prévenir le maire de Rothau qui m'a prié de prendre directement contact avec le Service de la Protection Civile. Voilà pourquoi je m'adresse à vous.

Je me permets de vous rendre attentif sur la présence de la commune d'anciennes galeries de mines dont l'existence remonte à plusieurs siècles. Une de ces galeries se situe d'ailleurs à quelques dizaines de mètres de l'endroit où s'est passé l'incident.

Il est plus que vraisemblable qu'une autre de ces galeries se trouve sous ma propriété et que, compte tenu des fortes précipitations des dernières semaines, elle se soit affaissée.

On peut redouter d'autres éboulements avec peut-être des conséquences dramatiques, ceci d'autant plus que deux maisons d'habitation ne sont distantes de la cavité que de quelques mètres. Enfin, la rue du Maréchal est également toute proche...

Sans être expert, je pense que des sondages devraient être effectués de toute urgence afin d'éviter des accidents matériels, voire corporels.

Compte tenu de la situation, je vous saurais gré de bien vouloir me faire part de la suite que vous pensez donner à cette affaire.

Vous en remerciant à l'avance et restant à votre disposition pour tout renseignement complémentaire,

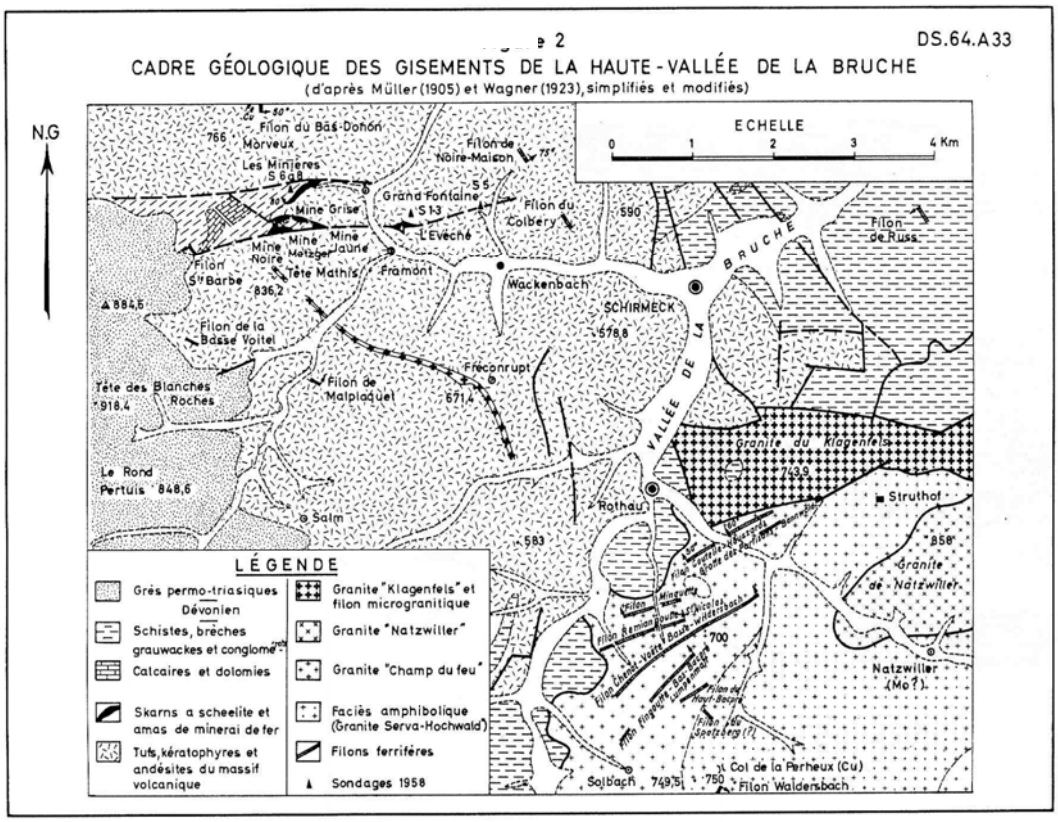
Je vous prie d'agréer, Monsieur le Directeur, mes salutations distinguées.

Jean-Marie WENDENBAUM

Copie : M.le Maire de Rothau

Annexe 1 : Courrier de M. Wendenbaum à la Préfecture

illustration 53 - Courrier de M. Wendenbaum à la Préfecture



Annexe 2 : Carte géologique des gisements de la vallée de la Bruche

BULL. B.R.G.M. 4-1964

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

illustration 54 - Carte géologique des gisements de la vallée de la Bruche

Carte géologique du Ban de la Roche extraite de la thèse de médecine de Henri Gottfried Oberlin (1806) *(Photo D. Leypold)*.

illustration 55 - Carte géologique de 1806

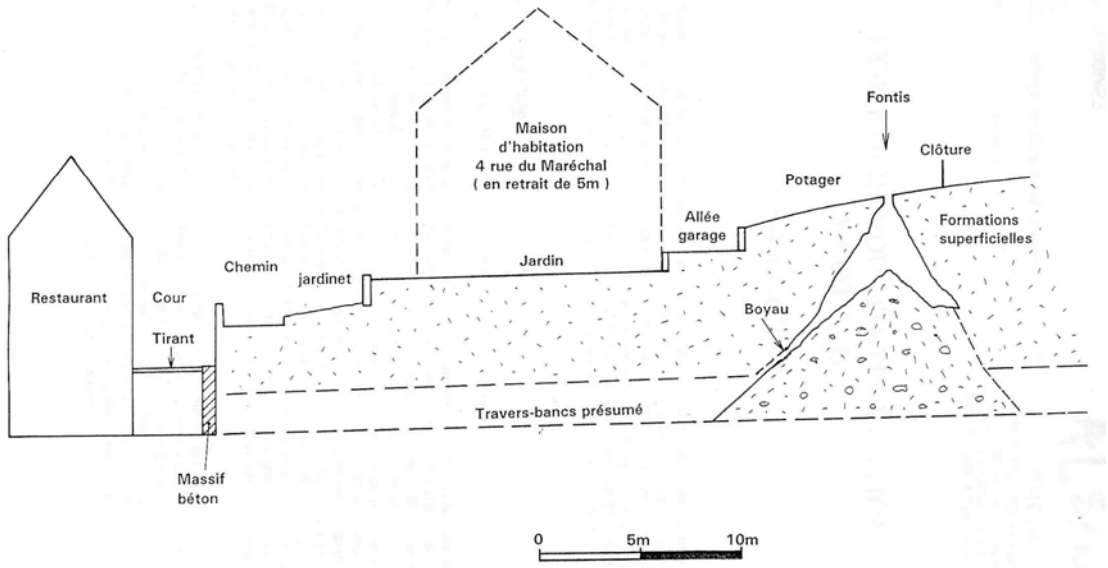


illustration 56 - Coupe interprétative suivant l'axe du travers-banc présumé

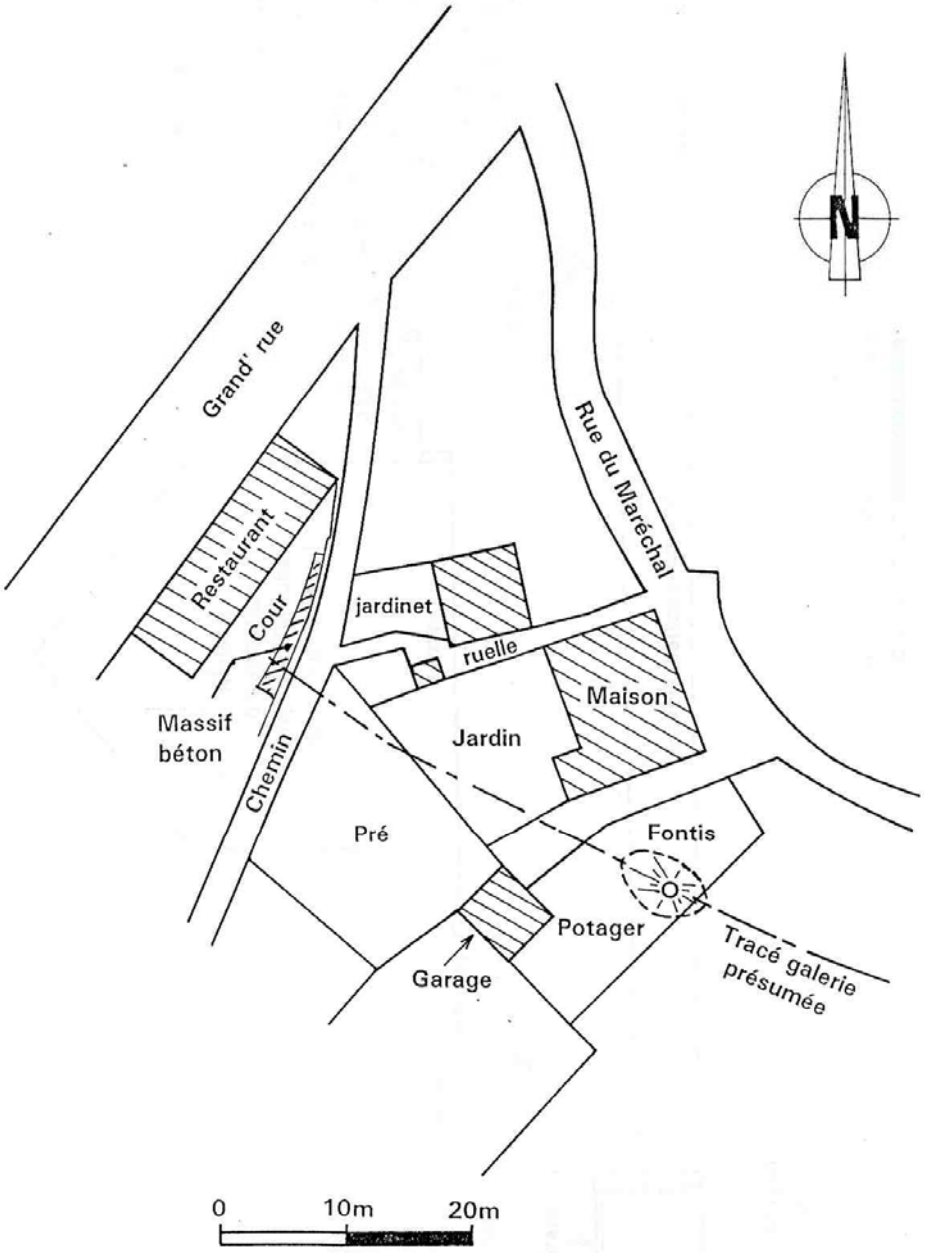


illustration 57 - Croquis de situation de l'effondrement actuel d'après plan cadastral

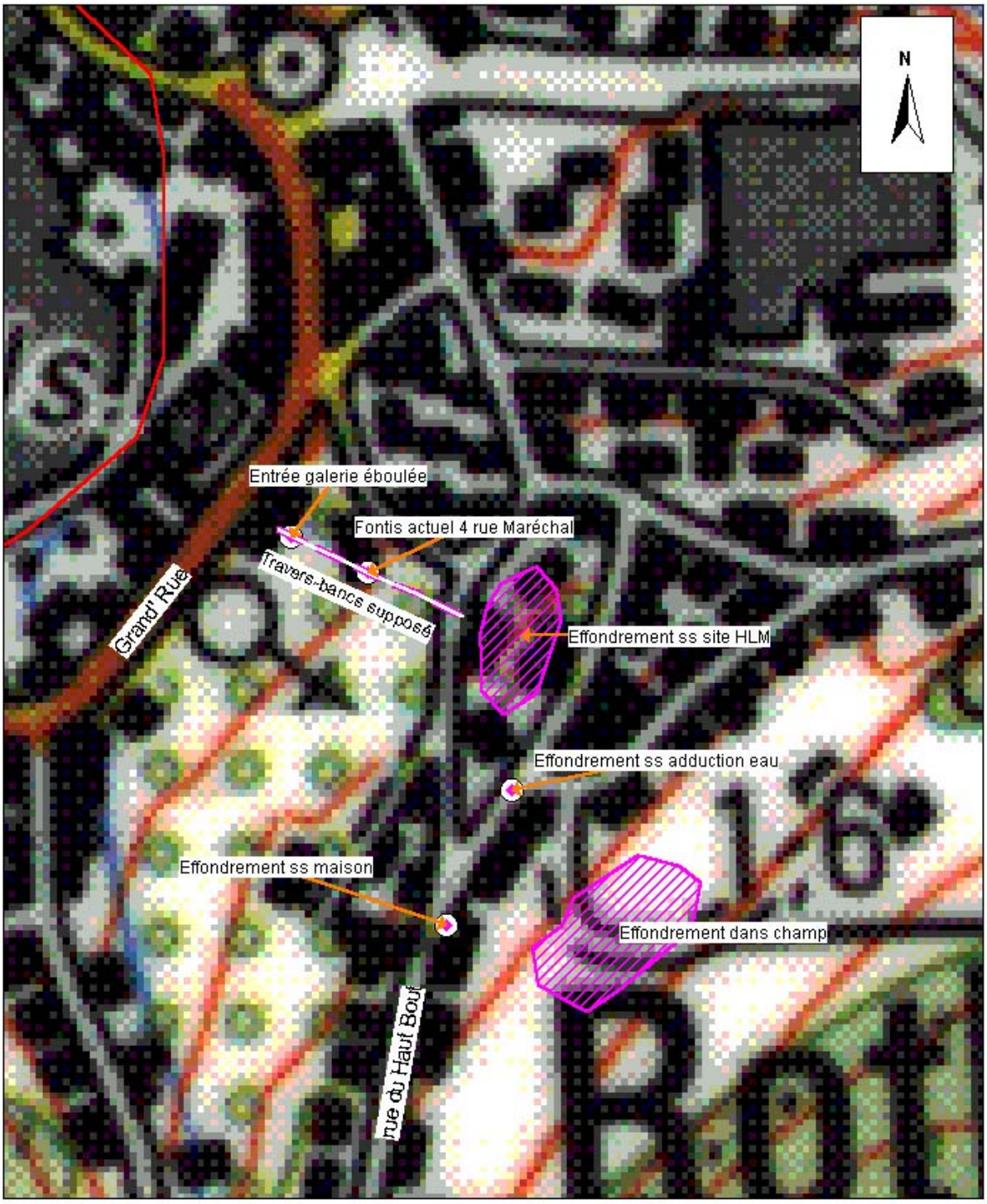


illustration 58 - Localisation des effondrements connus à Rothau sur agrandissement au 1/2000 de la carte topographique IGN

Photo 1 : Excavation pratiquée dans le mur de soutènement à l'emplacement de l'entrée de galerie

Photo 2 : Détail de l'excavation montrant le mur de pierre et le remblai derrière

Photo 3 : A l'amont de l'entrée de la galerie et à sa verticale en surface, ensellure et arbre penché

Photo 4 : Entre l'entrée de la galerie et l'effondrement, ensellure et arbre penché vue du coté sud

Photo 5 : Pose d'une échelle au sommet de l'effondrement par des membres du Spéléo Secours Français

Photo 6 : Détail du fontis dans les formations géologiques superficielles peu consolidées

Photo 7 : La cité HLM où s'est produit un effondrement durant les travaux de fondations

Photo 8 : La maison reconstruite sur l'effondrement qui s'est produit sous l'ancienne habitation

Photo 9 : Emplacement approximatif de l'effondrement qui s'est produit durant les travaux de mise en place de l'adduction d'eau

Photo 10 : Le champ où un effondrement se produisit lors de son labour

5.5. EFFONDREMENT A KAPPELEN (68) EN 2001

Référence : André Vial 2001a.

5.5.1. Circonstances de l'intervention du BRGM en date du 21/05/01

L'effondrement, qui s'était produit le 17 mai 2001, nous a été signalé par Mme Reinstettel de la Protection Civile (SIDPC) de la préfecture de Colmar dans la matinée du lundi 21 mai. Elle-même avait été prévenue ce même jour par la brigade de gendarmerie de Sierentz en raison du danger potentiel supposé pour deux à trois habitations situées le long de la rue des Vergers, ainsi que pour la voirie communale (*cf. illustration 59* et **photo 1**). Il s'agissait d'un effondrement de terrain imputé au pluies abondantes, effondrement ayant mis à jour une galerie de la 2ème guerre mondiale. Mme Reinstettel a demandé au BRGM d'émettre un avis technique après examen du phénomène.

5.5.2. Observations effectuées lors de la visite

Localisation (illustration 59, 61 et 62)

L'effondrement s'est produit dans une zone située pratiquement au sommet d'une colline orientée Est-Ouest (*cf.* **photos 1, 4, 5**), d'environ 15 à 20 m de hauteur par rapport aux vallées environnantes (*cf. illustration 59* et 60). Il se situe plus exactement au 5 de la rue des Vergers presque à l'extrémité sud de la zone habitée. Cette rue est grossièrement orientée Nord-Sud. On y trouve réseau d'assainissement, réseau électrique EDF et réseau PTT mais pas de réseau de gaz.

Contexte météorologique

Les personnes présentes lors de notre visite ont fait part de très fortes précipitations orageuses à Kappelen durant la période comprise entre les 14 et 16 mai 2001. Ces pluies faisaient suite aux précipitations abondantes qui se sont produites entre janvier et mai 2001, notamment durant les mois de mars et avril.

Contexte historique

Kappelen a fait partie des zones où se sont déroulées autrefois des combats lors des guerres franco-allemandes notamment durant la 1ère guerre mondiale. Durant la deuxième guerre mondiale cette zone faisait partie du dispositif militaire de la ligne Maginot.

Des témoins ont rapporté qu'à ce titre les troupes françaises ont pris position et étaient stationnées à Kappelen fin 1939 - courant 1940.

Un ancien du village témoigne que la galerie souterraine du 5 rue des Vergers n'existait pas lors de l'évacuation des populations civiles des zones de combat en 1939. A leur retour fin 1940 elle était creusée et on y accédait par deux entrées. Apparemment la galerie avait été implantée sous le talus est de la rue des Vergers, talus bien visible sur la **photo 4,** et les deux entrées étaient probablement situées en bordure de rue (sur cette **photo 4** l'entrée de la propriété de M. Neudeck se situe au niveau du bosquet à droite de la borne à incendie qui n'a pas été déplacée).

L'existence de ce boyau militaire fut ensuite oubliée, y compris des anciens propriétaires qui n'en ont pas fait mention au propriétaire actuel M. Neudeck.

Contexte géologique (illustration 60)

A Kappelen l'ensemble des terrains sous-jacents sont constitués soit par des limons loessiques récents (**a1l** sur la carte géologique), soit par des loess et lehms anciens (**a1le** sur la carte), soit par des alluvions récentes dans les vallées (**a2** sur la carte).

Au niveau de l'effondrement il s'agit de limons loessiques de teinte beige clair avec litages de dépôt visibles (presque horizontaux).

Ces dépôts superficiels forment les collines environnantes. Ils devraient atteindre une épaisseur d'une dizaine de m à leur sommet (voire plus). Ils sont tendres, faciles à creuser et sont caractérisés par d'assez bonnes qualités mécaniques lorsqu'ils sont secs. Lorsque cette formation est imprégnée d'eau elle perd toute cohésion et se transforme en une boue inconsistante.

L'ensemble de ces propriétés explique à la fois :

- que l'on ait choisi d'y creuser une galerie (pas trop d'efforts à déployer et solidité acceptable notamment après étayage),
- que ce soit au sommet d'une colline (pratiquement la garantie que la galerie demeurerait sèche et la raison de son existence 60 ans après son creusement),
- l'effondrement du 17 mai au 5 rue des Vergers en présence de venues d'eau abondantes (probablement les précipitations orageuses des 14 au 16 mai 2001).

- **L'effondrement et la galerie souterraine (illustration 62, 63, photos 3 et 7 à 13)**

L'**effondrement** s'est produit à l'intérieur de la propriété de M. Neudeck côté jardin du muret de béton qui limite au nord la rampe d'accès au garage souterrain de la villa (*cf.*illustration 62, **photo 2,** pour la rampe la **photo 6** qui est plus ancienne).

Un **léger affaissement** existe aussi côté rue juste devant le coffret EDF de raccordement au réseau électrique (*cf.* illustration 63 et **photo 2**). Cet affaissement est récurrent depuis une dizaine d'années et est comblé au fur et à mesure de sa formation par les employés municipaux.

L'effondrement proprement dit s'est produit au niveau du raccordement des conduites d'assainissement et d'évacuation des eaux pluviales dans un tuyau commun qui rejoint le réseau d'assainissement de la commune dans la rue (*cf.* **photo 3** et illustration 63). Au moment où l'effondrement a été découvert la jonction entre les trois conduites (assainissement, eaux pluviales, sortie vers réseau d'assainissement communal) était déboîtée si bien que les eaux s'écoulaient dans la cavité en contrebas.

Cette **cavité se divise en deux parties** :

- une **zone d'éboulement** dont la pente est orientée vers le sud, d'environ 0,6 m de hauteur moyenne de 2,7 m de longueur (*cf.* **photos 7** et **8,** illustration 63) et de direction moyenne N40° E vers le sud. Cette zone comporte en fait les cônes de deux éboulements, un petit côté rue en connexion probablement avec l'affaissement sur la rue et l'éboulement principal correspondant au présent effondrement. La **photo 8** montre nettement la voûte de la galerie principale à gauche et sur la droite un 2ème arc de voûte correspondant probablement à l'ancienne entrée nord de cette galerie (ainsi qu'au petit cône d'éboulement mentionné ci-dessus). Il faut noter que le petit éboulement bouche totalement l'ancienne entrée. Celle-ci n'est décelable qu'au niveau de la voûte.

  Côté nord de cette zone n'existent que les loess en place. Notons encore que le muret de béton limitant le sud de l'effondrement a empêché celui-ci d'avoir plus d'ampleur en maintenant en place les terrains.

- l'**ancienne galerie militaire** (*cf.* illustration 63 et **photos 9 à 13**) est d'une longueur de 8,6 m, de direction générale égale à N05° E vers le sud et de hauteur comprise entre 1,2 m et 1,5 m. Elle mesure 1,85 m de large dans sa section régulière. Son toit relativement plat (**photo 10 et 11**) et l'incurvation de son tracé lui donne un aspect très inhabituel pour une cavité souterraine. Il s'agit plus d'une cave-abri que d'une véritable galerie. Il subsiste les traces d'un étayage de l'abri sans que l'on puisse pour autant parler d'un travail classique de boisage par des mineurs. Il ne reste rien des étais qui ont probablement été enlevés il y a 20 à 30 ans. Enfin l'aspect des parois de cette cavité évoque une cimentation en surface de ces parois, alors qu'il s'agit en fait de loess consolidé par un très fin encroûtement.

La galerie est en partie comblée par des limons plus ou moins fins. Sa hauteur originelle devait être d'environ 2 m. Le 21/05/01 il restait une flaque d'eau (*cf.* **photo 9**). Mais les témoignages (dont un film vidéo réalisé par M. Neudeck) et les indices d'humidité sur les parois et en voûte attestent que la galerie avait dû être totalement remplie d'eau.

A l'extrémité SO de la galerie se trouve un 3ème cône d'éboulis, important en volume (*cf.* **photo 12**). Il correspond à l'accès sud de la galerie (*cf.*illustration 63).

Le volume total de la cavité peut être estimé dans une fourchette comprise entre 25 et 32 m³. La cote de la voûte de la galerie est d'environ 96,50 m (soit à environ 3 m sous la surface du champ à l'origine et à 1/1,5m sous le niveau de la surface de la rue). L'altitude du sol est donc actuellement de 95,0 m environ.

5.5.3. Conclusions déduites des observations

Les observations tendent à confirmer que la cavité redécouverte est bien un ouvrage militaire. Son état encore relativement bon sous une épaisseur réduite de terrain plaide pour son creusement en 1939/1940 au début de la 2ème guerre mondiale.

Cette galerie était étayée et avait deux accès, l'un côté nord près de l'effondrement actuel, l'autre côté sud. Ces deux accès se sont éboulés (ou ont été comblés) comme l'attestent les deux éboulements relevés côté ouest de la cavité. Une partie des limons recouvrant l'ancien sol de la galerie a probablement pour origine ces éboulements et/ou comblements. Les étais renforçant l'ouvrage ont été retirés affaiblissant par là même sa solidité.

La galerie a été pratiquement totalement remplie d'eau très peu de temps avant l'effondrement du 17/05/01. Peut-être l'était-elle encore à ce moment là.

Les limons loessiques dans lesquels la galerie a été creusée sont relativement perméables puisque la galerie était presque sèche le 21/05/01.

Il est très probable que le phénomène conduisant à l'effondrement du 17/05/01 n'a pas été soudain. Il a dû se produire il y a quelque temps une (ou des) fuite d'eau qui a percolé jusqu'à la galerie par gravité. Petit à petit les particules fines de la formation encaissante ont été emportées vers la galerie (comme l'attestent les limons qui remplissent en partie la galerie) avec pour résultat la création de vides. La totalité de la zone correspondant à l'effondrement et à l'éboulis vers la galerie s'est donc trouvée affaiblie du point de vue mécanique jusqu'à ce qu'un apport d'eau plus important (sûrement les précipitations abondantes des 14, 15 et 16/05/01) ait imprégné les terrains encore en place et provoqué l'effondrement constaté.

Cette dernière venue d'eau importante s'est produite au niveau du déboîtement entre conduites d'assainissement de l'habitation, d'eaux pluviales de l'habitation et d'évacuation vers le réseau d'assainissement communal. Ceci explique la position de l'effondrement par rapport à l'ensemble de la cavité.

L'affaissement récurrent en bordure de rue a pu constituer auparavant une source de venues d'eau notamment en raison de la longue période de précipitations atmosphériques exceptionnelles du début de l'année 2001. Dans ce cas sa position par rapport à la cavité (illustration 63) montre que ce n'a pas été le facteur déclenchant principal.

Les facteurs déterminants de l'effondrement sont :

- en premier lieu la présence oubliée de l'ancien abri militaire de la guerre 39–40 ;
- en deuxième lieu les pluies abondantes du début de l'année 2001 ;
- en troisième lieu le déboîtement des conduites d'évacuation d'eau en provenance de la maison ;

- les précipitations orageuses du 14 au 16 mai 2001 ont dû être le facteur déclenchant terminal.

Quelles que soient les circonstances ayant conduit à l'effondrement constaté la galerie se serait effondrée à terme. Les aléas atmosphériques du début de l'année 2001 et le déboîtement d'un raccord de conduite n'ont fait qu'accélérer un processus inéluctable.

5.5.4. Recommandations de mesures et travaux

Il y a tout lieu de prendre des mesures pour la sécurité publique. Dans l'immédiat, il faut assurer la protection des habitants du 5 rue des Vergers et des personnes circulant sur cette rue. Ensuite il s'agit de combler la cavité révélée par l'effondrement.

Mesures conservatoires en urgence :

Limiter la circulation des véhicules à une seule voie de passage et aux seules automobiles, tout autre engin de poids supérieur étant exclus, y compris les camionnettes et les tracteurs agricoles. La voie de circulation maintenue devra se situer à l'opposé de l'effondrement du côté ouest de la rue.

Mettre en place un système de barrières et de panneaux pour matérialiser cette limitation et prévenir les utilisateurs.

Interdire le passage par tout véhicule à la verticale de la galerie (ceci signifie que le propriétaire du terrain ne peut pas utiliser son garage).

Ces travaux ont été réalisés (*cf.* photo 1, intervention des pompiers et des services techniques de la mairie de Kappelen, y compris de M. le Maire en personne). Ces mesures devront être maintenues aussi longtemps que la cavité n'aura pas été remblayée et le terrain au-dessus redevenu stable.

Comblement de la cavité. Trois solutions sont possibles :

Mise en place par écoulement d'un coulis de ciment, d'argiles et de produits permettant au coulis de se solidifier peu après l'arrêt de son écoulement. Différents types de coulis sont disponibles. L'un d'entre eux présente l'avantage d'avoir les mêmes caractéristiques physiques que les loess ce qui est une garantie pour la stabilité à long terme de la zone de terrains concernée (propriété de M. Neudeck et partie avoisinante de la rue des Vergers).

Ouverture d'une tranchée continue au-dessus de la cavité puis comblement avec des graviers tout venant compactés par vibration à leur mise en place.

Ouverture d'un puits vertical à section carrée de 1,5 m de côté vers l'extrémité sud de la galerie. Comblement par des graviers tout venant via l'effondrement et via ce puits, avec compactage par vibrations à réaliser aussi bien que possible. Ce dernier système n'offre cependant pas de garanties contre le risque de mouvements de tassement ultérieurs. Ces tassements, qui pourraient se produire là où le remblaiement n'a pas

été parfait, n'auraient cependant qu'une faible ampleur. Mais ils pourraient occasionner des dégâts sur les murs de clôture, les revêtements de sol, voire même sur la rue très proche.

Surveillance des abords de l'effondrement afin de déceler toute évolution néfaste de l'effondrement avant qu'elle n'occasionne d'éventuels dégâts.

Conclusions

L'effondrement qui s'est produit le 17 mai 2001 au 5 de la rue des Vergers à Kappelen est imputable à la présence oubliée d'une ancienne cave-abri militaire de la 2ème guerre mondiale. Les facteurs déclenchants de ce phénomène ont été d'abord les précipitations atmosphériques exceptionnelles du début de l'année 2001, puis le déboîtement au niveau d'un raccord d'une conduite d'évacuation des eaux pluviales de la maison vers le réseau d'assainissement communal, enfin, dans une moindre mesure, la présence d'un affaissement en bord de rue à la verticale d'un des deux accès à la cave-abris.

L'épaisseur entre le toit de la galerie et la surface du sol actuel étant réduite (1 m à 1,5 m) il est indispensable de procéder rapidement au comblement de la cavité.

Jusqu'à la réalisation de ce remblaiement, la circulation sur la rue devra être limitée à une seule voie et aux seules automobiles sur la rue des Vergers au niveau de l'incident. De même le propriétaire du terrain, M. Neudeck ne pourra circuler avec un véhicule au-dessus de la galerie pour accéder à son garage.

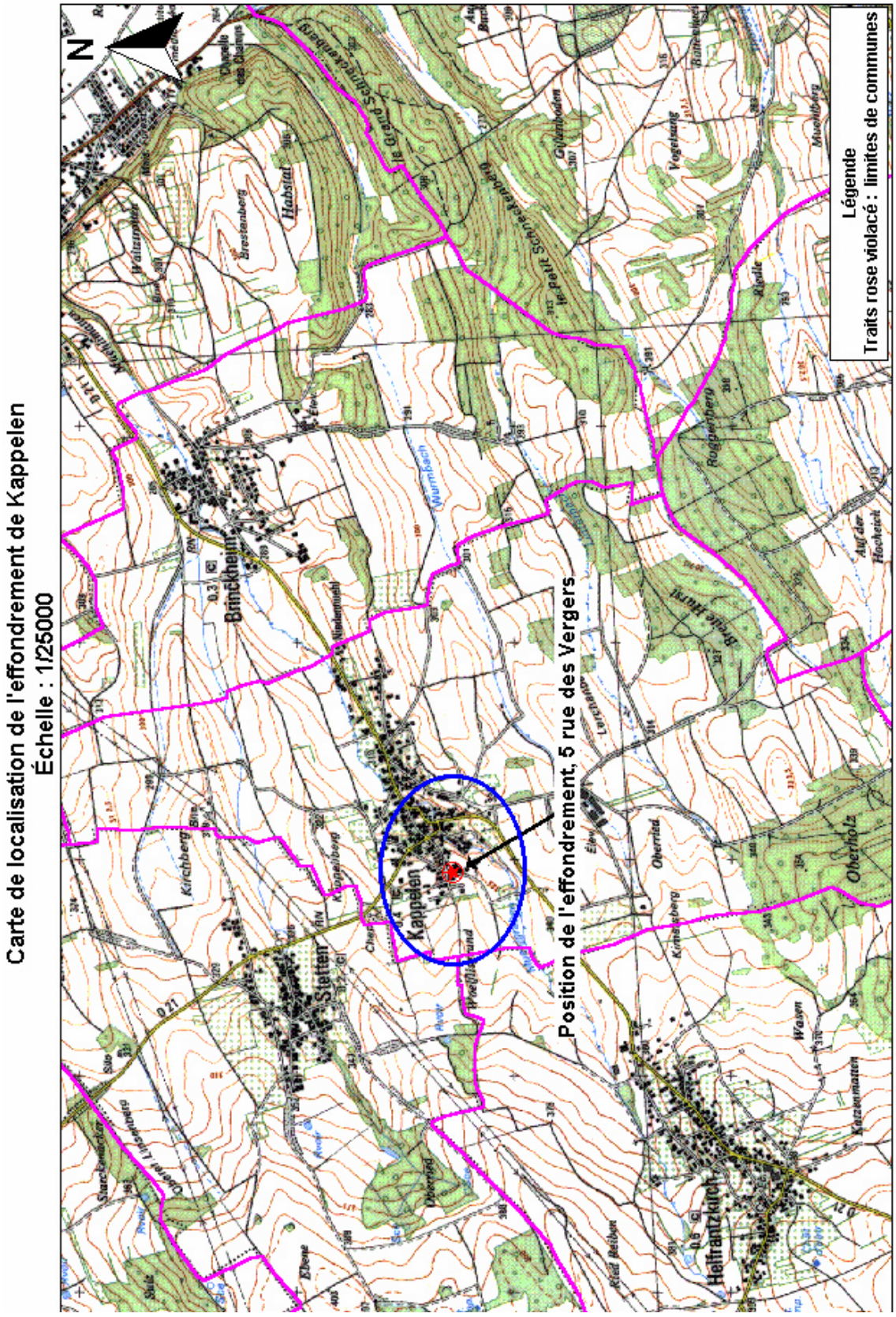


illustration 59 - carte de localisation

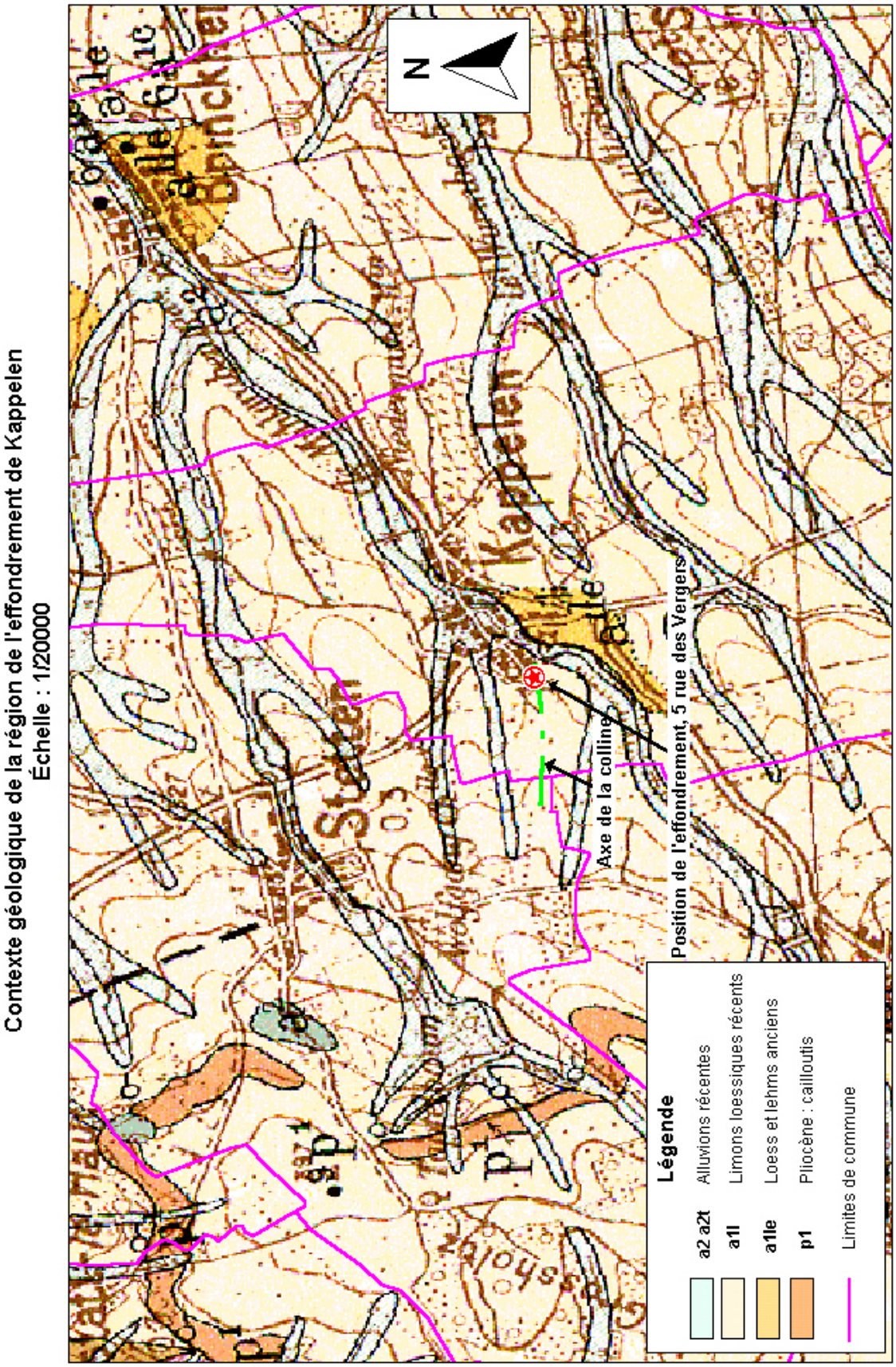


illustration 60 - Extrait carte géologique

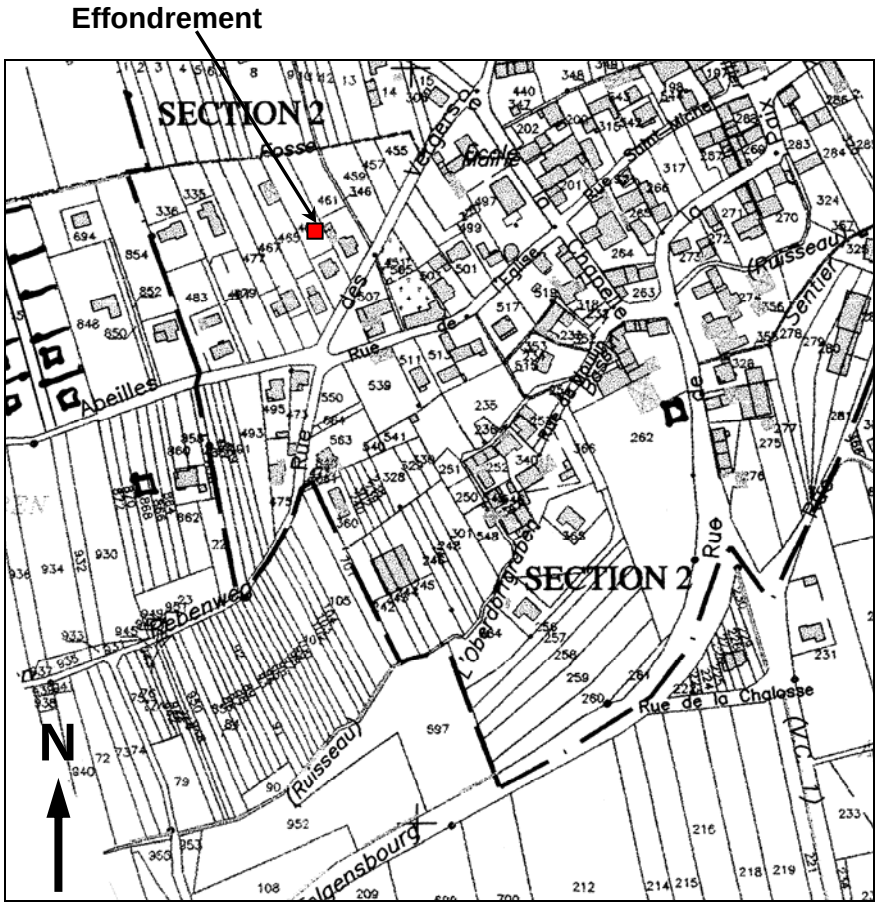


illustration 61 - Localisation de l'effondrement sur carte cadastrale de Kappelen au 1/5000ème

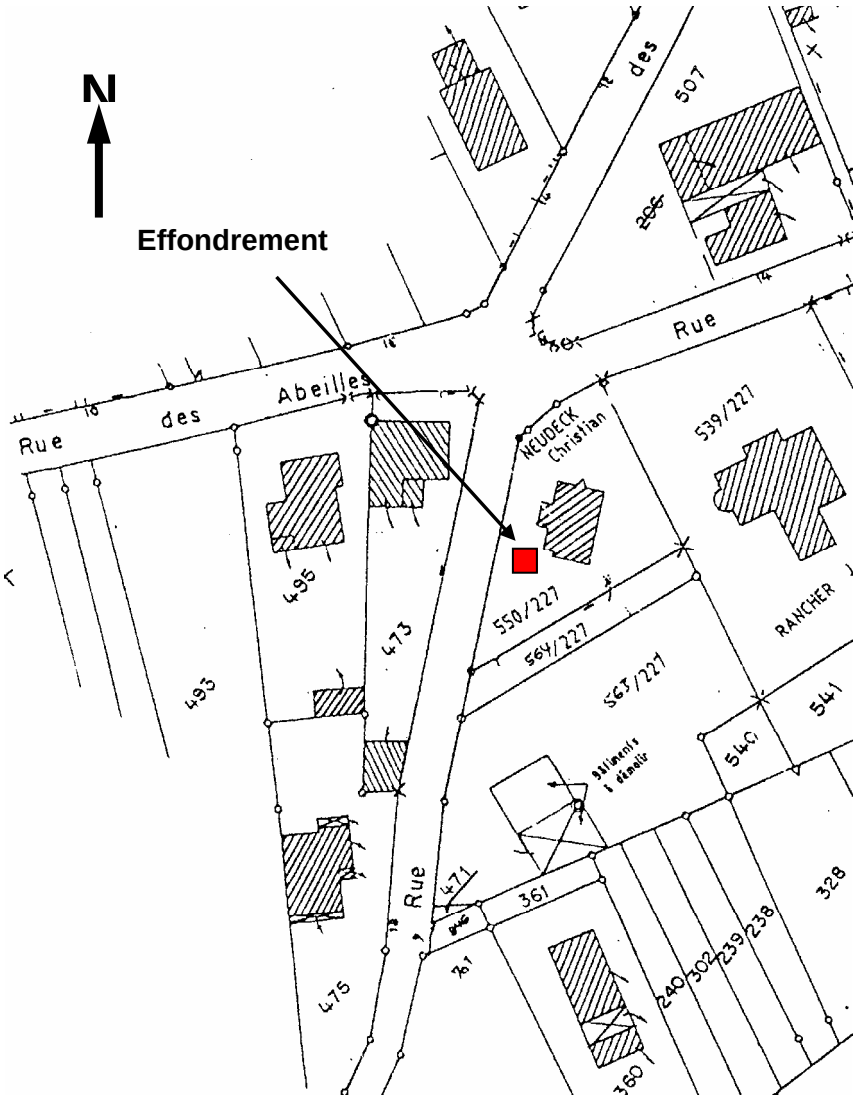


illustration 62 - Localisation de l'effondrement sur carte cadastrale de Kappelen au 1/1000ème

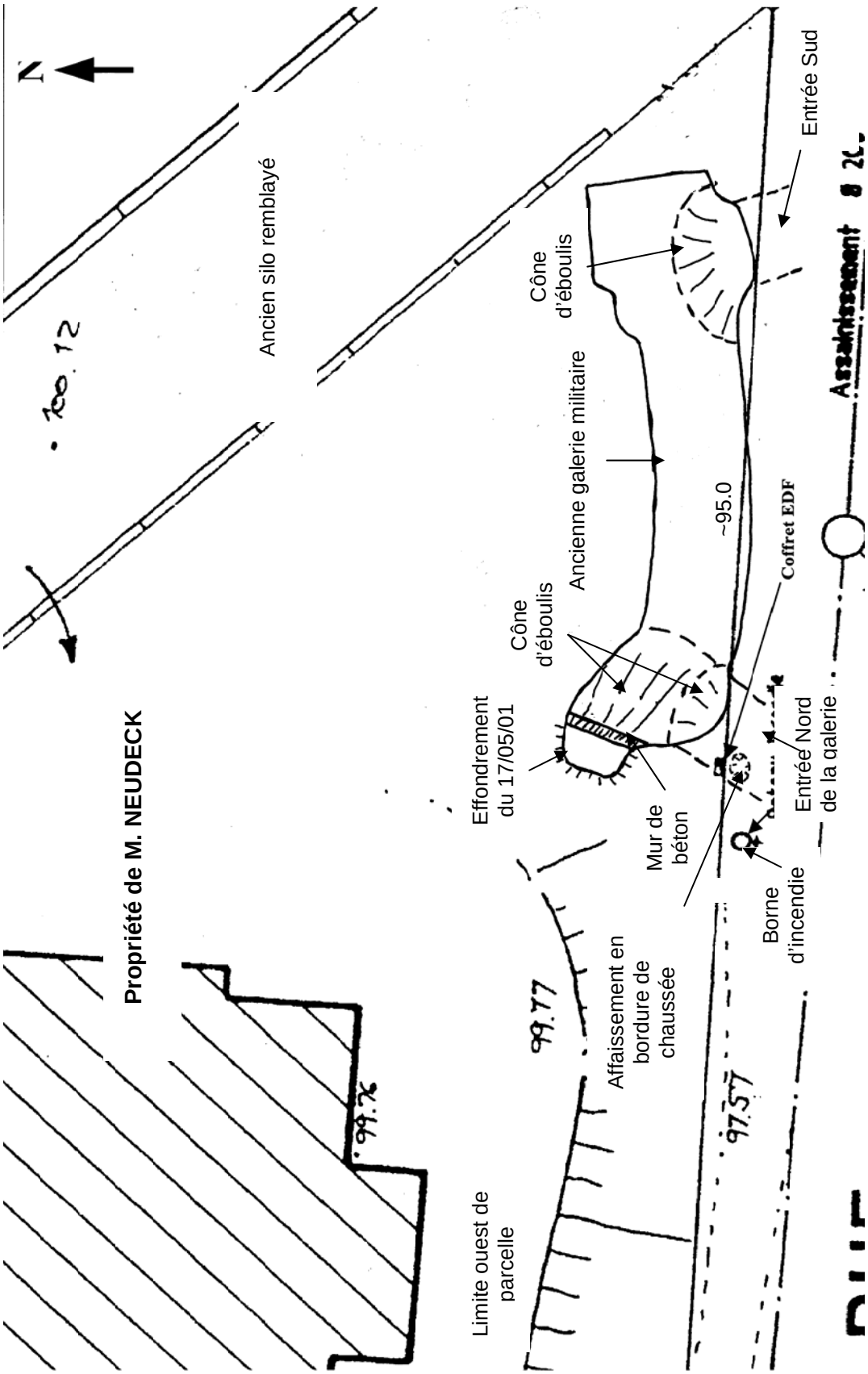


illustration 63 - Schéma de la galerie souterraine sur fond cadastral. Echelle : 1/100

Planches photographiques de la commune de Kappelen

Photo 1 : La zone de l'effondrement devant la maison de M. Neudeck

Mur limitant au sud l'effondrement chez M. Neudeck

Photo 2 : Petit affaissement côté rue des Vergers devant le coffret électrique

Photo 3 : L'effondrement avec au fond conduite d'évacuation des eaux usées et pluviales

Photo 4 : 5 Rue des Vergers avant construction de la villa de M. Neudeck (la bouche à incendie est la même)

Photo 5 : Le sommet de la colline vue en Ouest-Est de 25 m au sud de l'effondrement

Photo 6 : La surface du sol de l'habitation

Photo 7 : La galerie vue de l'effondrement

Photo8 : Début de la sortie N vers le haut à droite

Photo 9 : Flaque d'eau reste de quantités d'eau abondantes

Photo 10 : Galerie avec racines au toit

Photo 11 : La galerie en partie comblée (H = 1,2 à 1,5 m)

Photo 12 : L'effondrement au niveau de la sortie sud vers le haut, rue des Vergers

Photo 13 : Extrémité sud du boyau souterrain avec traces d'étais, probablement aménagée en zone de stockage

5.6. EFFONDREMENT A STEINBACH (68) EN 2003

Références : Michel Messin (2003a), (2003b).

5.6.1. Introduction

Le SIDPC a été informé le 27 janvier 2003 par le secrétaire de mairie de Steinbach d'un effondrement mettant au jour vraisemblablement une ancienne galerie militaire. Le terrain appartient à Monsieur Fuchs Luc demeurant 19 rue de la Loi à Steinbach.

Des mesures de sécurisation du site ont été immédiatement recommandées par le SIDPC ainsi que l'intervention de la gendarmerie.

Informé de cette affaire Monsieur Stelmach, sous-préfet de l'arrondissement de Thann, rend compte des premières constatations fournies par la gendarmerie :

- *« le propriétaire du terrain aurait constaté dimanche 26 janvier après-midi que le terrain se creusait sous ses pieds. Un trou d'environ 1 mètre sur 60 cm est apparu au-dessus d'une cavité de trois mètres de profondeur ;*
- *le trou se situe à 15 m de l'angle de la maison construite il y a 15 ans ;*
- *le propriétaire n'est pas informé de l'existence d'une galerie militaire ;*
- *toutefois, d'après le maire joint au téléphone par le sous-préfet, il pourrait s'agir d'une tranchée de guerre 1914/1918, qui passerait sous la route. Le maire a annoncé qu'il sollicitera des renseignements auprès de l'association historique locale ».*

En raison du danger potentiel supposé pour cette habitation et éventuellement pour la route ci-dessus mentionnée, le SIDPC a demandé au BRGM un avis technique sur cet effondrement. Une visite a donc été organisée sur place le 4 février 2003.

Etaient présents lors de la visite du 4 février 2003 :

- Monsieur Hanss, le Maire de Steinbach ;
- Madame Fuchs, propriétaire du terrain ;
- Monsieur Keller, père de Madame Fuchs ;
- Monsieur Latasse, archéologue de la Communauté de communes de Cernay ;
- Chef Barrere de la Gendarmerie ;
- Monsieur Messin du BRGM.

5.6.2. Observation

Déroulement des missions

Une première mission a été engagée par le BRGM le 04 février 2003 pour établir un premier diagnostic et émettre les recommandations pour une mise en sécurité immédiate.

Une seconde mission a été menée le 25 février 2003 par Monsieur Latasse, Archéologue à la Communauté de communes de Cernay et environs, qui a mené une exploration après avoir dénoyé la cavité. Le plan résultant a été communiqué eu BRGM le 28 mars 2003.

Entre temps, le propriétaire du terrain Monsieur Fuchs avait actualisé le plan cadastral pour positionner précisément les galeries et le fontis par rapport aux bâtiments qui ne figuraient pas sur ce plan.

- **Mission du 4 février 2003**

On observe sur la propriété un fontis de 80 cm de diamètre environ, où l'on trouve un niveau d'eau à 1 m de profondeur et où l'on devine des prolongements vers le Nord-Est et vers le Sud-Ouest. La couverture n'est plus que de 30 cm à 40 cm de terre meuble au-dessus du vide.

Cet effondrement pourrait être lié à un réseau de tranchées datant de la première guerre.

L'exploration pratiquée par Monsieur Latasse juste après l'effondrement lorsqu'il n'y avait pas d'eau, tend à montrer :

- une galerie côté nord-est, ouverte sur une longueur de 5 m ;
- une galerie côté sud-ouest sur une longueur de 2,5 m ;
- des galeries de 1,5 m de haut et 1,0 m de large avec un toit qui se situe à 2,5 m de profondeur.

Le fontis s'est produit juste au niveau d'un regard fonctionnant en puits perdu, qui recueille les eaux pluviales du toit du garage proche et celles du drain périphérique de la propriété.

Ce regard ne repose plus maintenant sur sa base mais pratiquement grâce aux seuls frottements latéraux.

- **Missions du 25 février 2003 (M Latasse et M Bohly)**

A la fin de la période de neige et de pluies, les galeries ont été dénoyées et des reconnaissances ont été pratiquées par Messieurs Latasse et Bohly.

Le schéma de la galerie telle qu'elle a été observée figure en annexe. On note une extension nord-est qui se termine après une dizaine de mètres avec une pente de 25 degrés. Au Sud-Ouest, la galerie se termine rapidement sur un effondrement à quelques mètres.

Terrains concernes

Ces galeries ont été creusées dans les terrains conglomératiques tertiaires probablement altérés. Les photographies et les témoignages de M Keller et Mme Fuchs, montrent qu'il s'agit bien de ce type de formation, altérée et tendre mais suffisamment cohérente pour avoir une bonne tenue à court terme.

Le niveau d'eau dans le terrain est fluctuant. Il semble que l'on puisse mettre en liaison les eaux qui circulent dans la galerie et les écoulements permanents qui émergent au droit du chemin qui borde la propriété (illustration 67).

Historique

Différents événements ont été observés récemment. Un effondrement de ce type s'est produit il y a deux ans au même endroit, Monsieur Fuchs avait alors déversé des matériaux pour le combler. Un autre effondrement s'était produit dans les années 1975, à 80 m environ au Sud du fontis actuel.

La galerie découverte est selon toute vraisemblance un abri lié à la « tranchée de l'Ourcq » réalisée au cours de la première guerre mondiale pendant la bataille de Steinbach (1914-1915). Le recalage de cet ouvrage sur le plan cadastral actuel montre que les désordres se situent à une quinzaine de mètres plus au Nord. Ce calage ne peut être rigoureux en raison du non géoréférencement des ouvrages et des plans, mais il montre tout de même une relation pratiquement certaine entre les différentes ouvrages (voir illustration 70 plans des galeries militaires, du détail de la galerie découverte (illustration 69) et du recalage des différents ouvrages sur le plan cadastral (illustration 68)).

5.6.3. Diagnostic

Menaces

A court terme, les menaces peuvent provenir de :

- l'évolution de l'effondrement et du fontis lui même. La résistance de la voûte actuelle va diminuer avec le temps, avec les alternances d'épisodes pluvieux et secs notamment ;
- la rupture possible d'autres parties de galeries et en particulier celles qui sont adjacentes et qui ont été reconnues comme non effondrées ;
- l'évolution difficilement appréciable des autres parties du réseau non découvertes, non observées jusqu'ici.

Origine

L'effondrement s'est produit précisément à l'emplacement où a été construit le regard, là où des terrassements ont été faits lors de la construction et là où un effondrement a déjà eu lieu.

Il s'agit d'une zone de moindre résistance, par ailleurs lessivée par les eaux recueillies dans le puisard et entraînées dans le réseau de galeries.

On notera dans chacun de ces phénomènes, que l'eau joue un rôle important en mettant en charge périodiquement le réseau et en entraînant des matériaux qui lorsqu'ils s'effondrent en profondeur peuvent faire « remonter » des fontis comme ce fut le cas en début d'année.

5.6.4. Recommandations

Juste après les observations de février 2003 il était recommandé de :

- élargir le périmètre de protection et à l'étendre aux parties de galeries reconnues (5 m vers l'Est et 2,5 m vers l'Ouest) ;
- mettre en place une protection suffisamment résistante et large pour retenir un enfant en cas d'effondrement ;
- éviter de déverser des eaux de surface dans l'effondrement (eaux pluviales du garage) ;
- surveiller l'évolution et en particulier le niveau d'eau dans l'effondrement ;
- reconnaître les deux départs de galeries pour tenter d'évaluer leur extension et leur résistance, ceci ne pouvant se faire qu'avec de nombreuses précautions notamment au cours du pompage des eaux.

Ces recommandations ont été respectées puisque des observations ont pu être pratiquées dans les galeries fin février par Messieurs Latasse et Bohly.

Pour assurer la stabilité définitive des abords immédiats, il est recommandé à court terme de :

- combler avec des matériaux graveleux (non compressibles et drainants) les parties de galerie ouvertes et observées. Les travaux pourront être pratiqués en ouvrant la voûte des galeries et en procédant par simple déversement ;
- réorganiser les écoulements de façon à ne pas diriger les eaux pluviales et les eaux de drainage dans les galeries.

Enfin subsistera une interrogation forte sur l'extension, le positionnement et l'état des autres parties du réseau qu'elles se trouvent sur la propriété de M Fuchs ou sur le reste du territoire de la commune.

On notera que les réseaux de tranchées sont d'après les documents examinés particulièrement développés au droit du village de Steinbach. Sur les plans on retrouve par exemple des ouvrages portant les noms de « Suzette, Ninette, Lucette… », auxquels pourraient être associés des abris souterrains.

A plus long terme, il serait recommandé de :

- faire une première évaluation sur la base des archives disponibles ;
- de tenter de retrouver des indices sur le terrain et éventuellement de mettre en œuvre des moyens de reconnaissance géophysiques (microgravimétrie, Hélium…) pour identifier les sections encore ouvertes ;
- en fonction des résultats obtenus d'engager des investigations permettant une observation directe et de mettre en œuvre les moyens les moyens les plus adaptés ainsi que les mesures d'information correspondantes.

5.6.5. Conclusions

Le fontis qui s'est ouvert à Steinbach en janvier dernier correspond à l'effondrement d'une partie de galeries souterraines de la première guerre mondiale en liaison avec le réseau de tranchées dit de « l'Ourcq ».

Cet effondrement a eu des antécédents au moins dans les années 1975 et en 2001.

Le phénomène qui s'est produit résulte très vraisemblablement de l'entraînement des matériaux déjà remblayés récemment vers d'autres parties des galeries notamment par les eaux recueillies dans le puisard qui se trouve au droit de la galerie.

A court terme, maintenant que les parties observables ont été reconnues, il convient de procéder à leur remblayage, ce qui est la solution la plus pérenne et la plus sûre.

Subsistent ensuite les interrogations sur les autres parties des réseaux de la première guerre. Des investigations plus détaillées peuvent être envisagées à partir d'une base de connaissance issue des archives disponibles.

illustration 64 - Vue du fontis

illustration 65 - Vue rapprochée de l'orifice débouchant au jour

illustration 66 - Emplacement du fontis par rapport à l'abri garage

illustration 67 - Vue des écoulements dans le talus (la température plus élevée de l'eau profonde favorise la fonte de la neige)

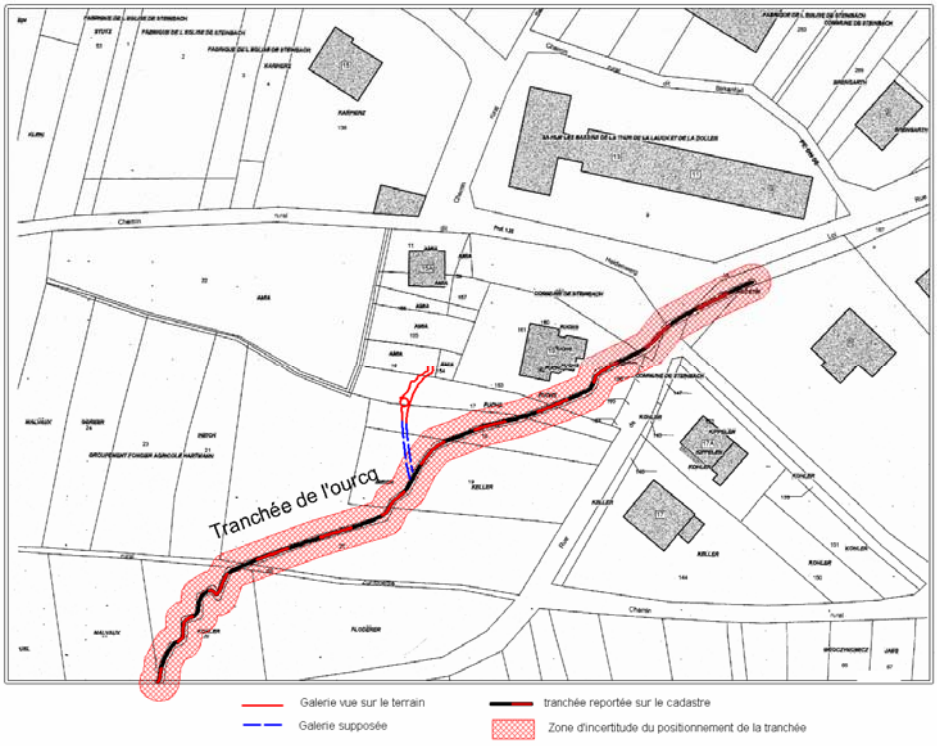


illustration 68 - Positionnement du fontis par rapport au réseau de l'Ourcq

Fax émis par : 0389757814 CC CERNAY 28/03/03 09:51 Pg: 3/3

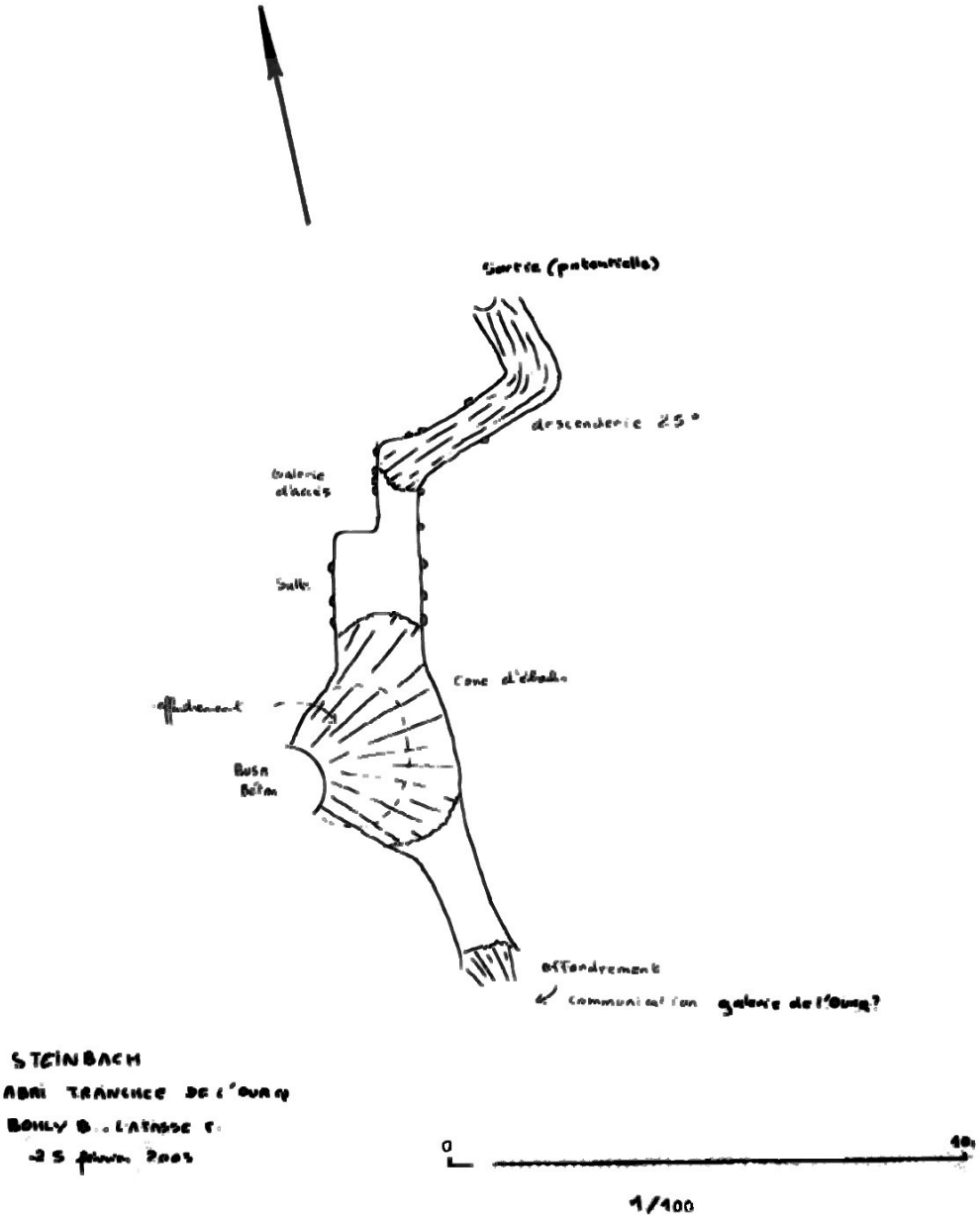
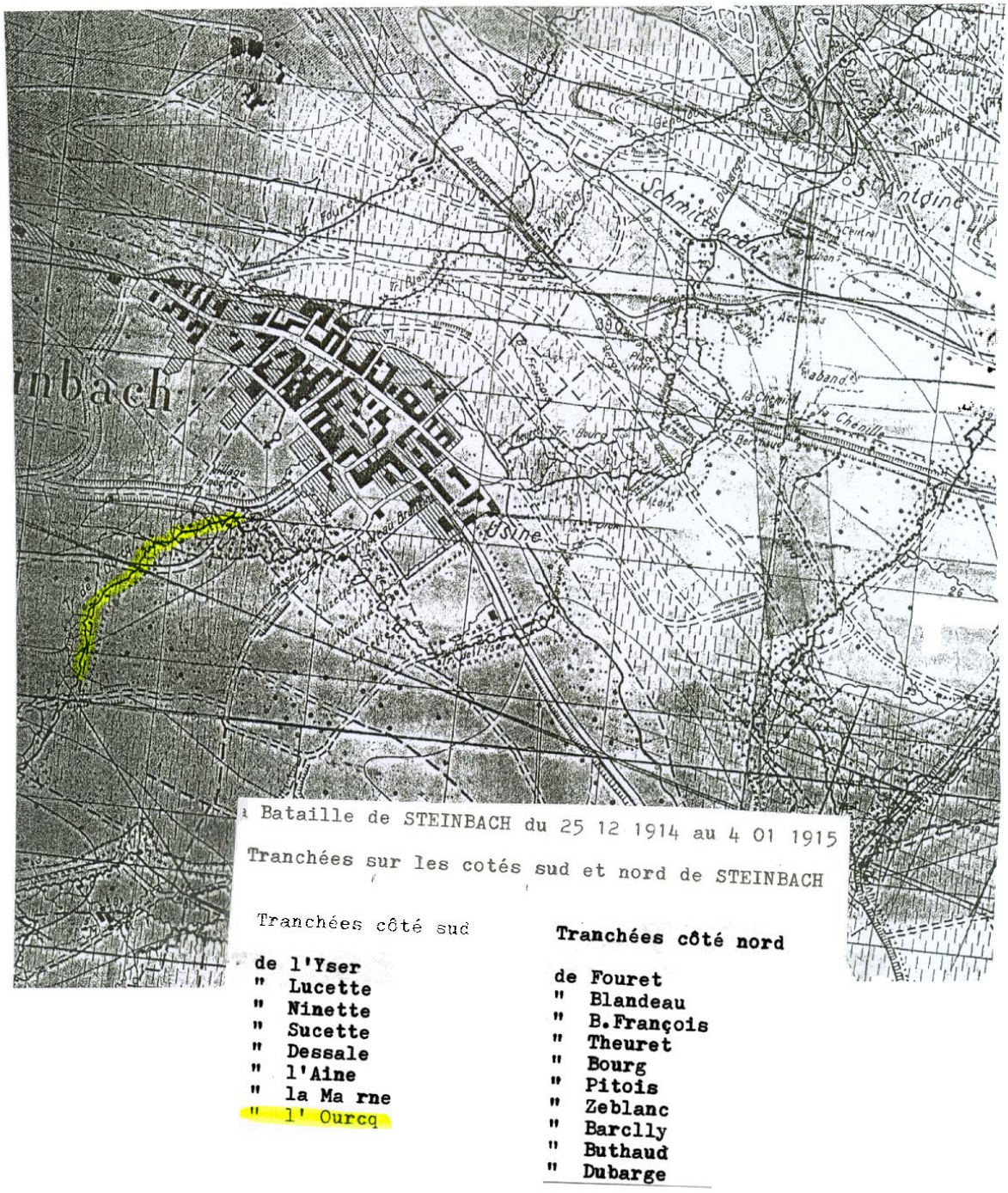


illustration 69 - Plan détaillé de la galerie reconnue (extrait du rapport de MM Latasse et Bohly)



Extraits de plans montrant le réseau de galeries de la première guerre à Steinbach

illustration 70 - Situation de la tranchée de l'Ourcq

5.7. MOUVEMENT DE TERRAIN A ACHENHEIM (67) EN 2003

Référence : Michel Messin, (2003c).

5.7.1. Introduction

A la demande de la DRIRE Alsace, sollicitée par le Maire de la commune d'Achenheim, le BRGM est intervenu pour établir un diagnostic et des recommandations à la suite de l'effondrement de falaise survenu le 12 mai 2003.

Cette intervention a été effectuée dans le cadre des missions de service public du BRGM et plus particulièrement dans celui des appuis délivrés aux administrations (fiche de service public 03PIRA09….) sur une demande de la DRIRE (Monsieur Jovion) du 15 mai 2003.

Une première mission a été effectuée le 16 mai 2003, étaient présents :

- M Violat Maire d'Achenheim ;
- M Sittler Syndic société Immo 4 ;
- Mmes Brunet et Metzger, M Schneider propriétaires ;
- Mme Chabart et M Messin BRGM.

Un compte rendu à destination de M le Maire et de la DRIRE a été établi le 16 au soir.

Un second examen de terrain a été pratiqué le 23 mai après exécution des premiers travaux de mise en sécurité.

Un courrier a été établi le 26 mai rendant compte de cette visite.

5.7.2. Intervention

L'examen du site a été effectué le 16 mai à 13h00 en compagnie de :

- M Violat Maire d'Achenheim ;
- M Sittler Syndic société Immo 4 ;
- Mmes Brunet et Metzger, M Schneider propriétaires.

Une courte présentation du diagnostic et des recommandations de court terme a été faite à l'issue des observations, en mairie en présence de tous les participants cités.

Des travaux de mise en sécurité ont ensuite été réalisés le 20 et 21 mai.

Un examen du site a de nouveau été pratiqué le 23 mai et un courrier a été établi à la suite de cette intervention.

5.7.3. Désordres

Le lotissement est construit dans une ancienne carrière (Hurst) d'argile et de loess utilisé pour la confection de briques. Un des anciens fronts de taille se trouve précisément à une dizaine de mètres environ du bâtiment.

C'est de ce front que le 12 mai 2003, à 7 heures, une écaille de terrain de 1 à 2 m^3 s'est abattue à l'arrière de la façade sud-ouest du bâtiment constituant le lot n° 8 du lotissement.

Elle s'est disloquée en grande partie lors de sa chute mais des matériaux sont venus toucher l'angle sud du bâtiment.

Selon les indications des propriétaires cette écaille était limitée par des fissures dont l'ouverture s'accroissait « à vue d'œil » dans les derniers mois.

Face à cette situation, M le Maire a émis un arrêté de péril pour les occupants de la partie sud-ouest du bâtiment.

5.7.4. Mécanisme et origine

Les formations géologiques concernées sont des loess, bien connus régionalement parce qu'ils ont fait l'objet d'exploitation, qu'ils constituent un niveau remarquable et qu'ils contiennent de nombreux vestiges archéologiques.

Ils appartiennent au Pléistocène moyen et sont constitués de limons plus ou moins cohérents selon leur teneur en eau et leur degré de décalcification. L'eau a une influence très forte sur leur comportement et leur tenue est particulièrement fragile lorsqu'ils sont soumis à une érosion de surface.

Le front de limon possède une hauteur légèrement supérieure à celle du bâtiment soit 12 à 15 m environ et son recul par rapport au bâtiment tel qu'il est mentionné sur le dernier plan masse du permis de construire est de 13 mètres environ[31].

Les loess apparaissent très secs (résultat de la sécheresse des mois derniers) et peuvent constituer de véritables blocs avec une cohésion non négligeable. Ce comportement favorise par ailleurs la constitution d'un réseau de fissures de retrait très nettement visible dans les parois. Lorsque des pluies importantes se produisent (comme ce fut le cas dans les jours qui ont précédé la rupture), ces fissures se remplissent d'eau et provoquent des mouvements tels que ceux qui sont apparus.

[31] On notera que les implantations sur le terrain vont faire l'objet d'une vérification et que cette implantation par rapport au front a été modifiée dans le second dépôt de permis, le bâtiment ayant été rapproché de 5 m environ de la falaise.

Les propriétaires mentionnent par ailleurs le fait que les secousses sismiques du début de l'année ainsi que les passages des tracteurs provoquent des ébranlements, ce qui est probablement sensible mais pas essentiel dans le mécanisme.

La dernière partie du front est pratiquement verticale sur 7 ou 8 m de haut et avec les caractéristiques évoquées précédemment, un apport d'eau notable dans un milieu fortement fissuré peut provoquer de telles ruptures.

5.7.5. Risque résiduel

Dans le prolongement de l'écaille qui s'est écroulée, subsiste une autre écaille de 6 à 7 m de haut, de 2 m de largeur moyenne et de 0,8 m d'épaisseur très nettement limitée par un réseau de fractures ouvertes parfois sur plusieurs centimètres.

Cette écaille se trouve dans une position d'équilibre très précaire car elle n'est plus butée latéralement par l'écaille qui a disparu, sa chute à court terme est très probable.

Au pied du front, on trouve également d'autres blocs d'extension moindre mais décollés du reste du versant ce qui montre également une grande fragilité de la partie basse. En cas de rupture, l'influence sur l'équilibre des parties hautes est importante.

En cas de chute, l'écaille la plus importante peut venir toucher le bâtiment et l'on ne connaît pas par ailleurs, l'effet d'une telle destabilisation sur le reste du front

5.7.6. Recommandations

Au plus tôt

Il est nécessaire de procéder à la purge de l'écaille mentionnée précédemment, à l'aide d'une pelle mécanique équipée d'un bras long. On préférera une solution d'attaque par le bas (même si elle est destructrice pour les pelouses) à une solution par le haut qui viendrait positionner un engin lourd en bordure d'une paroi dont l'équilibre est douteux.

A la suite de cette purge et sous réserve de l'observation du front découvert par un spécialiste, les propriétaires pourront réintégrer leur appartement.

A court terme

La tenue résiduelle, la hauteur, la proximité de l'ancien front de carrière et la sécurité des habitants paraissent incompatibles. En effet le profil est tel qu'il pourra toujours y avoir des chutes de masses de terrains à proximité immédiate des bâtiments. Ces phénomènes auront une extension limitée mais l'occupation du terrain est telle que la probabilité d'apparition d'un accident (le risque) est importante. On aura donc recours soit à des procédés de soutènement soit à des terrassements pour adoucir la pente. Dans cette dernière hypothèse, la plus accessible à la copropriété, ceci implique :

- au pied, soit de neutraliser fortement l'espace entre le bâtiment et le front, soit de mettre en place des soutènements de pied, de type enrochement ;
- en tête, d'avoir une entrée en terre en net recul dans le champ mitoyen par rapport à la situation actuelle.

Par ailleurs on veillera à revégétaliser très rapidement la pente de façon à empêcher les effets de l'érosion avec les orages ou les pluies de l'été.

On notera que la pelouse située sur le côté du bâtiment face à la falaise constitue un point bas et que les eaux provenant de la falaise (chargées de loess) vont se déverser contre le mur du bâtiment sans exutoire (autre que les fenêtres donnant sur les garages souterrains).

5.7.7. Situation après travaux

Les travaux de mise en sécurité effectués le 20 et 21 mai 2003 ont consisté à purger l'écaille instable puis à terrasser le haut de la pente pour supprimer les corniches qui constituaient le haut de la falaise.

Quelques bâches de protection ont été mises en place notamment en partie haute.

L'examen du site le 23 mai à la fin des travaux a permis de constater que :

- l'écaille menaçante était bien purgée ;
- la falaise avait été adoucie en tête par terrassement en déblai, en pied par remblaiement en laissant les parties intermédiaires intactes. La pente paraît encore élevée (probablement supérieure à 50 degrés) mais en fait elle est constituée dans son ossature par des matériaux en place à la fois déchargés en tête et légèrement butés en pied, ce qui globalement améliore de façon très sensible son équilibre ;
- un puits avait été découvert en tête de falaise, son origine n'a pas été déterminée, il a été rebouché au cours des opérations.

Aujourd'hui on observe que les menaces d'instabilités de grandes écailles ont été éliminées mais que des mouvements d'ampleur moindre de type glissement ou coulée de boue peuvent encore se produire tant que la revégétalisation du talus n'aura pas été pratiquée. En effet, les loess sensibles à l'eau peuvent soit être entraînés par l'eau de ruissellement, soit se gorger d'eau et provoquer de petits glissements.

Il convient donc, le plus rapidement possible, de :

- constituer au pied de la pente un système de rétention des limons qui vont être entraînés ;
- ménager un exutoire au pied de cette pente autres que les fenêtres des garages souterrains ;
- revégétaliser la pente fraîchement terrassée.

5.7.8. Conclusion

Les ruptures qui se sont produites le 12 mai 2003 ont laissé apparaître d'autres écailles menaçantes pour la sécurité des habitants des immeubles riverains. Les travaux de mise en sécurité ont été engagés dans la semaine qui a suivi, le 20 et 21 mai. Les menaces d'instabilité en grand, à l'échelle de la falaise ont aujourd'hui disparu à la suite des travaux entrepris. En revanche, la situation n'apparaît pas totalement satisfaisante car des mouvements de type coulée de boue ou glissement peuvent encore apparaître tant que le talus ne sera pas protégé, végétalisé et que les niveaux superficiels n'auront pas retrouvé un équilibre de long terme.

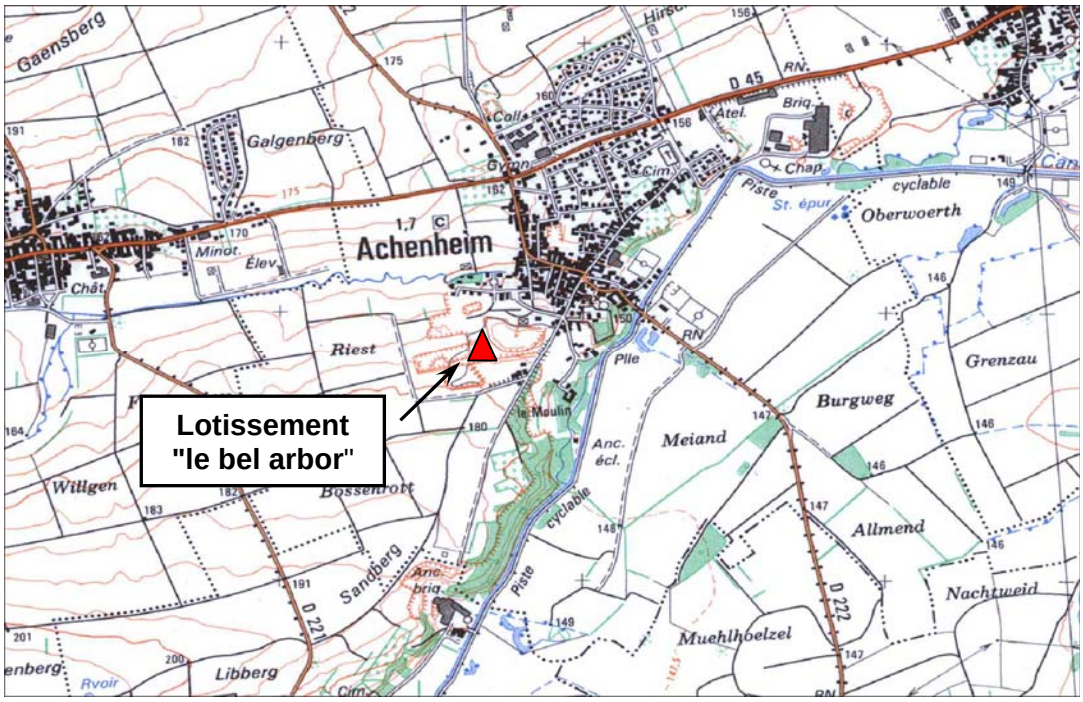


illustration 71 - Plan de localisation du lotissement sur fond de carte IGN au 1/25000.

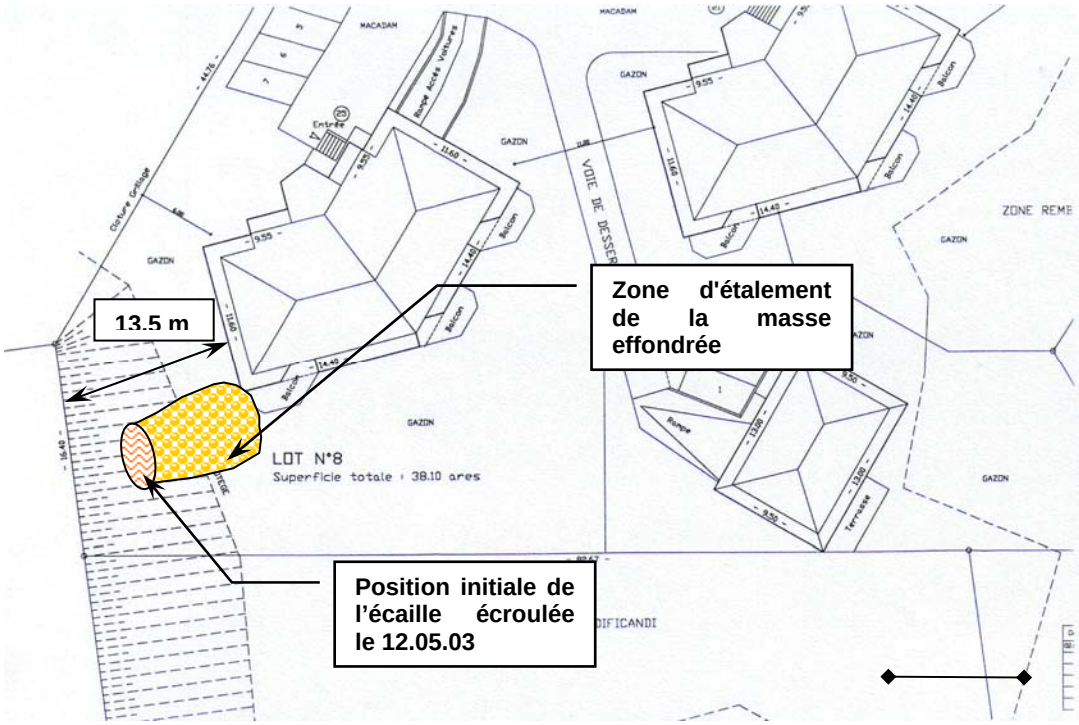


illustration 72 - Plan de masse actuel modifié après effondrement de l'écaille de loess

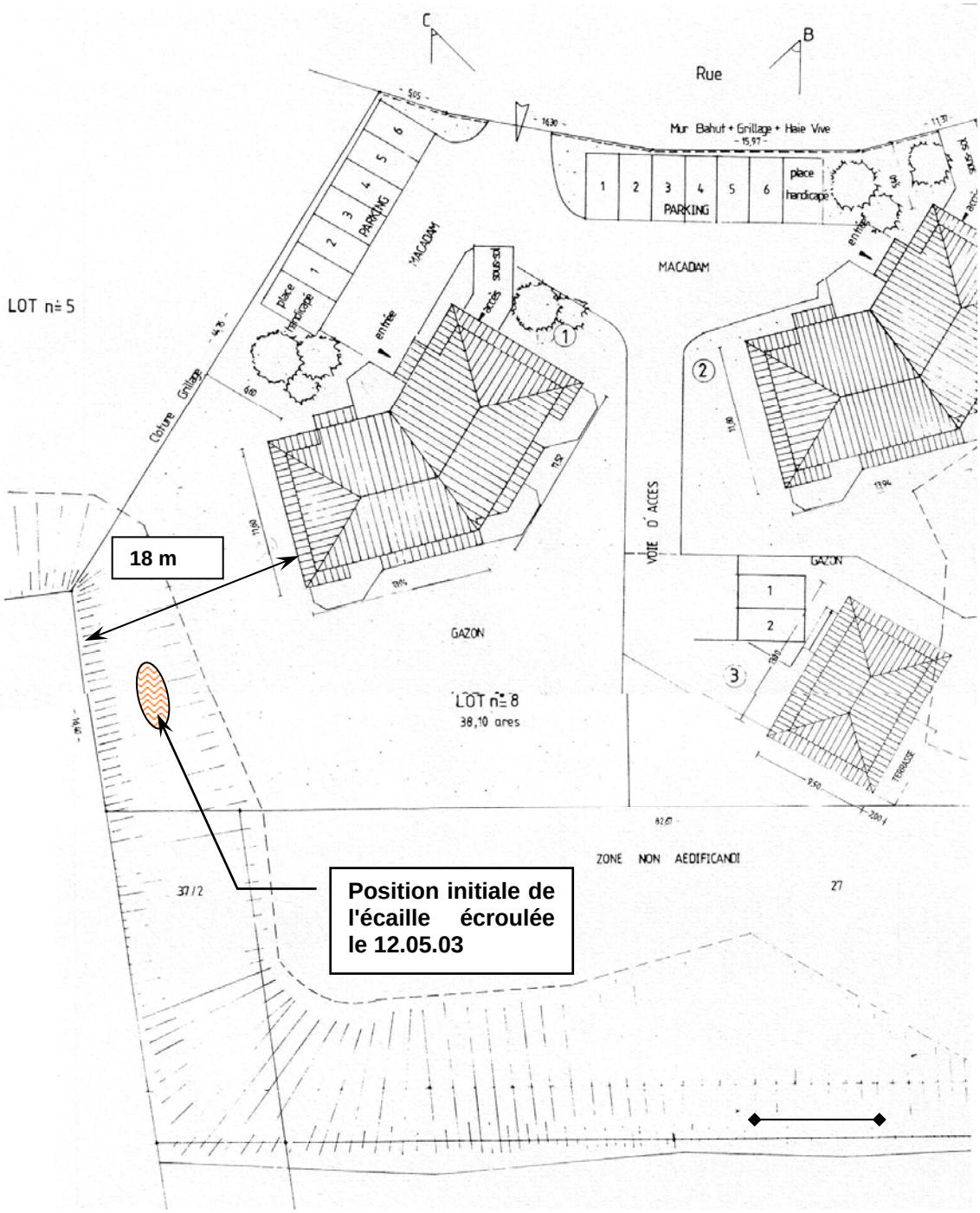


illustration 73 - Plan de masse initial.

Planches photographiques de la commune de Achenheim

Photo 1 : Vue d'ensemble du talus

Photo 2 : Extension des matériaux écroulés jusqu'au pied du bâtiment

Photo 3 : Emplacement de l'écaille arrachée

Photo 4 : Ecaille résiduelle instable à purger

Photo 5 : Aspect des matériaux en pied de talus.

Photo 6 : Base de l'écroulement

Photo 7 : Etalement des matériaux écroulés

Photo 8 : Vue d'ensemble du talus après travaux d'urgence

Photo 9 : Vue de la tête de talus après travaux d'urgence

Photo 10 : Vue du pied de talus après traitement d’urgence

6. Bibliographie

Audru J.C., **Messin M.** (2000) - Diagnostic de mouvement de terrain à Zellenberg (Haut-Rhin). SP 00PIR10. Octobre 2000. Rapport BRGM RP-50446-FR.

Audru J.C., **Quesnel F.**, **Moiriat D**., **Wessbecher A.**, **Kramers E.** (2002) - Evaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain dans la région de Ribeauvillé (68) : Etude préliminaire. Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 01RIS300. Rapport BRGM RP-51508-FR.

Chabart M. (1999) - Affaissements sur la commune de Bisel (Haut-Rhin). Compte rendu de visite du 10 avril 1999. 11.08.1999. Note technique BRGM ALS/NT99N19.

Chabart M. (1999) – Mouvement de terrain au droit des propriétés de M Triolet et Mme Durliat à Ueberstrass (Haut-Rhin). Rapport BGRM – R 40611.

Chabart M. (2001a) - Détachement d'un rocher à la base du donjon du château du Landskron à Leymen (68). Visite du 10 septembre 2001. Note technique BRGM ALS/NT01N32.

Chabart M. (2001b) - Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes cavités et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg - Bilan des actions 2000. Etude réalisée dans le cadre des actions de Service Public du BRGM 00-RIS-401. Rapport BRGM RP-50661-FR.

Chabart M., **Messin M.** (1999a) - Mouvements de terrain au droit des propriétés de M. Triolet et de Mme Durliat à Ueberstrass (68). SP 99-A-101. Mai 1999. Rapport BRGM R 40611.

Chabart M., **Messin M.** (1999b) - Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes cavités et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Volume 1 : Synthèse 1998 – Volume 2 : annexes. Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM SP 98-H-402. Rapport BRGM R 40447.

Chabart M., **Messin M.** (1999c) - Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes cavités et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg - Bilan des actions 1999. Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM SP 99-H-461. Rapport BRGM R 40888.

Cruz Mermy D. (2006) – Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes cavités et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Bilan des actions 2004-2005. Rapport BRGM RP-54843-FR, 97p., 10 tab., 4 Ann.

Cruz Mermy D., **Elsass P.** (2004) - Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes cavités et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine

de Strasbourg Bilan des actions 2002-2003. Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 2004-RISB02 D. Rapport BRGM RP-53600-FR.

Cruz Mermy D., **Perrin T.** (2004) – Inventaire départemental des mouvements de terrain du Haut-Rhin. Rapport d'avancement. BRGM/RP-53231-FR.

Cruz Mermy D., **Perrin T.** (2005) – Inventaire départemental des mouvements de terrain du Haut-Rhin. Rapport final. BRGM/RP-54048-FR, 84p. 16 fig., 4 tab. 3 ann.

Daesslé M. (1996) - Ferrette (68). Menaces de chutes de rochers sous le château. Examen du site du 13.06.1996. Juin 1996. Rapport BRGM R 38985.

Daesslé M. (1998a) - Effondrement de sol avec fontis à l'école maternelle d'Oberhaslach (67). Compte rendu de la visite du 26/01/1998. Note technique BRGM ALS/NT98N02.

Daesslé M. (1998b) -.Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes caves et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Deuxième phase : analyse des risques sur les sites sensibles. Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM SP 97-H-402. Rapport BRGM R 39893.

Daesslé M. (1998c) - Glissement de talus à Ueberstrass (68). SP 98-1-101. Mai 1998. Rapport BRGM R 40070.

Daesslé M., **Messin M.** (1996) - Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes caves et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Première phase: recueil de l'information. Étude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM SP 96-H-312. Rapport BRGM R 39115.

Elsass P. (2000a) - Compte-rendu d'intervention à Rothau. 3-4 août 2000. Août 2000. Note technique BRGM ALS/NT00N23.

Elsass P. (2000b) - Plan de Prévention des Risques naturels des vallées de la Largue et du Traubach (Haut-Rhin). Cartographie de l'aléa mouvements de terrain. Rapport BRGM RP-50292-FR.

Elsass P. (2002) - Glissement de terrain du 28/12/2001 à Wangenbourg. Compte rendu de visite du 3 janvier 2002. Note technique BRGM ALS/NT02N01.

Mathon C. , **Cruz Mermy D.** (2004) - Glissement de terrain sous l'abri du Schneeberg, commune de Wangenbourg-Engenthal. Visite du 20 avril 2004. Mai 2004. Note technique BRGM ALSNT04N13.

Maurin G., **Messin M.** (2000) - Plan de Prévention des Risques naturels de la vallée de la Largue (Haut-Rhin). Evaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain. Version finale. réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 99-H-179. Rapport BRGM R40823.

Ménillet F. (1998) – Les mouvements de terrain en Alsace. Note BRGM ALS98N18, 10 p.

Messin M. (1998) - Mouvement de terrain au lotissement Hüneberg à Kienheim (67). Diagnostic sur la situation en novembre 1998. Rapport BRGM R 40374.

Messin M. (2003a) - Effondrement à Steinbach (Haut-Rhin). Janvier 2003. Diagnostic et recommandations. Mars 2003. Note technique BRGM ALSNT03N16.

Messin M. (2003b) - Effondrement à Steinbach. Compte-rendu de visite du 4 février 2003. Février 2003 Note technique BRGM ALS/NT03N05.

Messin M. (2003c) - Mouvement de terrain au droit du lotissement "Le Bel Arbor", à Achenheim (67). Diagnostic et recommandations. Rapport final BRGM/RP-52456-FR, 27 p., 13 fig., 1 ann.

Moiriat D., **Kramers E.** (2002) - Évaluation et cartographie de l'aléa mouvements de terrain dans la région de Ribeauvillé (68) : étude détaillée. Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 02RIS300. Rapport BRGM RP-51999-FR.

Vial A. (2000) - Compte-rendu d'intervention à Rothau. 12 septembre 2000. Octobre 2000. Note technique BRGM ALS/NT00N24.

Vial A. (2001a) - Effondrement de terrain du 17 mai 2001sur une ancienne galerie, 5 rue des Vergers à Kappelen, Haut-Rhin. Diagnostic suite à la visite du 21 mai 2001. Mai 2001. Note technique BRGM ALS/NT01N20.

Vial A. (2001b) - Coulées de boue du 24 mai 2001 dans la commune de LANDSER - Visite du 30 mai 2001- Observations - *Mai 2001.* Note technique BRGM ALS/NT01N22.

Vial A. (2001c) - Glissement de terrain affectant la ferme du Blumenstein située entre Soultzmatt et le hameau de Wintzfelden. Visite des 19 et 20 mars 2001. Diagnostic préliminaire. Mars 2001 Note technique BRGM ALS/NT01N13.

Vial A. (2002a) - Coulées de boue du 24 mai 2001 dans la commune de STEINBRUNN-LE-BAS. Visite du 30 mai 2001 des zones de formation de coulées. Observations et témoignages. Mai 2002. Note technique BRGM ALS/NT02N09.

Vial A. (2002b) - Coulées de boue du 20 juin 2002 dans la région située au Nord du Sundgau et au Sud de Mulhouse. Visite le 03 juillet 2002 de certaines communes touchées et de leurs zones de formation de coulées. Juillet 2002. Note technique BRGM ALS/NT02N15.

Vial A., **Chabart M.** (2002) - Prévention des risques liés à l'existence d'anciennes cavités et ouvrages souterrains sur le territoire de la Communauté Urbaine de Strasbourg. Bilan des actions 2001. Etude réalisée dans le cadre des opérations de Service public du BRGM 01-RIS-401. Rapport BRGM RP-51555-FR.

Vial A., **Messin M.** (2001) - Glissement de terrain en bordure du chemin communal prolongeant la rue Frédéric Bastian du lieu-dit Weiler, Commune de Wissembourg. Diagnostic suite aux visites des 23 mars, 28 mars et 10 septembre 2001. Septembre 2001. Note technique BRGM ALS/NT01N16.

Vouaux V., **Arnoux C.**, **Cruz Mermy D.**, **Westermann S.** (2006a) – Inventaire départemental des mouvements de terrain du Bas-Rhin. Rapport final. BRGM/RP-54086-FR, 107 p., 31 ill., 5 ann.

Vouaux V., **Cruz Mermy D.**, **Miehé J.M.** (2006b) – Inventaire et cartographie des ouvrages souterrains sur le territoire de Pfastatt. Rapport final BRGM/RP-54804-FR, 168p. 59 ill. 6 ann.

Westermann S., **Cruz Mermy D.** (2005) – Inventaire départemental des mouvements de terrain du Bas-Rhin. Rapport d'avancement. BRGM/RP-53806-FR, 22p., 6 fig., 4 tab.

Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

Service géologique régional Alsace
15, rue du Tanin - Lingolsheim
BP 177
67834 Tanneries Cedex France
Tél. : 03 88 77 48 90