

MODIFICATIONS ANTHROPIQUES DU PAYSAGE

LE GLISSEMENT DE TERRAIN DE CAMPO VALLEMAGGIA

TABLE DES MATIÈRES

1. INTRODUCTION.....	3
2. APERÇU HISTORIQUE ET ASPECTS GÉNÉRAUX	4
3. LES ORIGINES DU PAYSAGE	7
4. LES CAUSES DE L'INSTABILITÉ	11
4.1. CAUSES NATURELLES	11
4.1.1. <i>Le climat et l'hydrologie</i>	11
4.1.2. <i>L'hydrogéologie</i>	12
4.1.3. <i>La géologie</i>	14
4.1.4. <i>La forêt</i>	16
4.2. CAUSES HUMAINES	19
4.2.1. <i>La coupe et le flottage du bois</i>	19
5. ÉVOLUTION HISTORIQUE DU GLISSEMENT.....	23
6. MÉTHODES DE RECHERCHE	28
7. RELATIONS ENTRE PRÉCIPITATIONS ET MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	31
8. CONSÉQUENCES DU GLISSEMENT.....	35
8.1. CONSÉQUENCES ACTUELLES	35
8.2. CONSÉQUENCES FUTURES	35
9. L'ASSAINISSEMENT DU GLISSEMENT.....	37
9.1. L'EXPERTISE DU PROFESSEUR HEIM (1897)	37
9.2. PROJET DE DESSÈCHEMENT ET DE REBOISEMENT DU HAUT PLATEAU DE CAMPO (1931-36).....	38
9.3. SOLUTION DÉFINITIVE PREMIÈRE PHASE.....	40
9.3.1. <i>La consolidation du front</i>	40
9.3.2. <i>Le dessèchement du glissement</i>	42
9.4. SOLUTION DÉFINITIVE DEUXIÈME PHASE.....	42
9.4.1 <i>La galerie de drainage</i>	44
9.4.2. <i>Le tunnel de déviation</i>	45
9.4.4. <i>Travaux forestiers; assainissement du front du glissement à Cimalmotto et réseau de canaux</i>	47
10. RÉSULTATS.....	48
11. CONCLUSION.....	52
12. PHOTOS.....	52
13. BIBLIOGRAPHIE.....	64
SOURCE DES ILLUSTRATIONS	64
PUBLICATIONS	64
ARTICLES.....	65
ŒUVRES NON PUBLIÉES	66

1. INTRODUCTION

Chaque fois qu'on parle d'une vallée des Alpes, on doit associer à la notion d'humanité le terme "nature". Le rapport homme-nature s'est modifié à travers les siècles: avec la coupe sauvage et inconsidérée des bois commencent à se dessiner les premiers symptômes d'une perte de respect envers la nature. Les forêts, les cours d'eau,... deviennent uniquement une source de revenu, une ressource exploitable économiquement. Les résultats de cette nouvelle attitude sont visibles au pied du village de Campo, constamment menacé par un glissement, avec lequel les habitants doivent tenir compte.

La relation indissociable qui relie l'homme à la nature et qui se manifeste à travers des interventions anthropiques sur le paysage, se réalise essentiellement à deux époques différentes; les objectifs qui caractérisent les deux périodes sont diamétralement opposés.

Le siècle passé, l'homme a exploité les ressources de la nature en la modifiant et en créant des bases pour son propre anéantissement. C'est le cas de Campo, haut plateau qui, exposé aux dangers naturels après la coupe sauvage des bois, a subi la force érosive de la Rovana¹, exagérée à cause du flottage des troncs.

Progressivement, après les excès de cette attitude autodestructrice, l'homme a modifié son comportement. Actuellement, il est en train de lutter contre un glissement qu'il a lui-même contribué à accélérer.

L'homme peut donc être considéré sous le double titre de cause concomitante et de probable solution du problème.

Depuis des années, les habitants du Valmaggia réclamaient une opération efficace d'assainissement de la région de Campo, Cimalmotto et Cerentino. Finalement, en 1991, les autorités politiques ont vraiment compris la gravité de la situation et elles se sont intéressées sérieusement à une étude d'intervention concrète.

La protection et la sécurité des habitants du village est devenu l'intérêt principal des autorités.

La réalisation d'une galerie de drainage et de 23 perforations subverticales vers la masse en mouvement a permis la réduction des surpressions artésiennes régnant à l'intérieur de la masse en mouvement. Du côté opposé de la vallée, la construction d'un tunnel de déviation de la rivière Rovana a mis un terme à l'érosion du pied de la masse. Enfin, on a réalisé à la surface un réseau de canaux qui permet de limiter l'infiltration des eaux dans le corps du glissement.

À côté de ces interventions aptes à contrôler et limiter l'érosion, une série de systèmes très sophistiqués de contrôle et de monitoring du mouvement a été réalisé, des sirènes d'alarme ont été installées dans les communes intéressées. Les autorités ont aussi étudié des plans d'évacuation de la population, c'est à dire toute une série de mesures aptes à protéger la communauté.

L'exploitation inconsidérée de la nature a fait place à une politique d'intervention précise et planifiée; une sorte de lutte respectueuse mais inégale contre une nature indomptable. De cette lutte naît ainsi l'espoir que les interventions appliquées et les mesures de protection suffiront pour préserver la vallée d'événements catastrophiques.

¹ Rovana est le nom du cours d'eau qui coule dans la vallée du même nom; à Cevio il se jette dans la Maggia

2. APERÇU HISTORIQUE ET ASPECTS GÉNÉRAUX

La commune de Campo possède une surface de 43,15 kilomètres carrés, elle se situe à une altitude de 1353 mètres et est subdivisée en cinq hameaux: Niva (955 m. s/m.), S'cèda (1094 m. s/m.), Piano (San Carlo) (1172 m. s/m.), Campo et Cimalmotto (1405 m. s/m.).

Campo se trouve dans le Val Rovana, une vallée latérale du Valmaggia, présentant un profil à V fortement accentué, dont les versants sont très escarpés. Cette vallée se cache derrière une déchirure à l'arrière de Cevio.

Les cinq hameaux qui forment la commune de Campo Vallemaggia se trouvent tous sur le versant ensoleillé de cette même vallée, mais sont assez éloignés les uns des autres: de Niva à Cimalmotto il y a près de 450 mètres de dénivellation. Les maisons occupent de vastes terrasses, qui ont permis, dans le passé, une importante exploitation agricole (seul S'cèda se trouve plus en bas dans la vallée). Dans chaque hameau, et spécialement à Cimalmotto, on trouve des constructions typiquement alpines: maisons et étables en bois et de nombreux greniers ou «torbe». Piano, Campo et Cimalmotto jouissent d'un parfait ensoleillement.

Le climat de cette région est influencé par l'altitude. Les précipitations sont normalement abondantes au printemps et en automne; la quantité de neige est elle aussi importante en hiver (vers la moitié du siècle passé elle dépassait souvent les deux mètres).

Le cours d'eau Rovana est un confluent de la Maggia, rivière qui arrive dans le Lac Majeur.

Le bassin hydrique de la Rovana, avec une surface de 111 kilomètres carrés, représentant environ 12% du bassin de la Maggia, est formé par les bassins de la Rovana de Bosco (surface de 31 km²) et de la Rovana de Campo (61 km²).

L'installation de la première communauté à Campo-Cimalmotto remonte à plus de 1000 ans.

Les différents hameaux de Campo formaient dans le temps une communauté assez nombreuse: elle regroupait plus de 1500 personnes au XVIIe siècle (elles étaient 1683 en 1667): au XVIIIe siècle, elle en comptait presque mille. La région avait donc favorisé un incroyable développement d'activités humaines. D'après le recensement de 1850, Campo comptait 506 habitants; la population diminua ensuite fortement (291 habitants en 1900), pour arriver en 1970 à un

Figure 1: Campo et le Val Rovana dans le contexte cantonal

effectif limité de 102 résidents. En 1986 les habitants n'étaient plus que 51; 59 en 1998. Cette impressionnante débâcle démographique est due à l'émigration et à l'abandon de la terre. Les habitants de Campo, émigrant en direction de l'Australie et la Californie et dans les pays européens, surtout en Allemagne, furent des pionniers dans le commerce et les banques. On peut admirer à Campo des maisons construites par des familles aisées qui avaient maintenu des liens avec la mère patrie. Ces édifices du XVIIe siècle sont le témoignage d'entreprises couronnées de succès. Ils sont malheureusement inhabités, puisque les descendants de ces pionniers vivent aujourd'hui dans des villes lointaines.

Les villages du Val Rovana présentent aujourd'hui des signes d'un certain abandon et d'un fort dépeuplement. De nombreuses maisons sont fermées et ne sont rouvertes que momentanément pour les vacances, par les propriétaires qui vivent et travaillent en plaine. Sur le fond du paysage de Campo, vers l'ouest, on peut admirer le vaste amphithéâtre de l'Alpe Cravairola, qui, on a du mal à le croire, est en territoire italien. Il fait partie du bassin hydrographique du Val Rovana, mais à cet endroit la frontière italo-suisse descend jusqu'au fond de la vallée. Ce territoire a été longtemps contesté et en 1874, après des controverses séculaires, il a été attribué à l'Italie, «contre l'histoire et la géographie»².

Les majestueuses terrasses de Campo et Cimalmotto, ainsi que le vaste amphithéâtre de Cravairola qui leur sert de toile de fond, constituent un des paysages les plus beaux et caractéristiques de tout le Tessin. Les villages, touchés de manière traumatisante par le phénomène du dépeuplement, sont devenus un lieu de villégiature d'été convoité non seulement par les habitants du Valmaggia qui habitent la plaine, mais aussi par des touristes venant de très loin.

Malheureusement, une terrible menace pèse sur cette magnifique vallée, sous la forme de l'instabilité constante du terrain, qui a provoqué ce que l'on appelle la «Frana di Campo» ou glissement de Campo, impressionnante blessure dans ce vert paysage, à laquelle il faut ajouter le glissement de terrain au-dessous de Cerentino.

Dans le passé, on ne parlait pas de glissement, même si en 1780, la population, effrayée par un mouvement, se serait enfuite à trois reprises sur les montagnes. Les premières manifestations importantes de ce triste phénomène datent de la première moitié du dix-neuvième siècle, au moment des inondations de 1834 et 1839. Le flottage du bois (avec la formation artificielle d'inondations), pratiqué depuis 1851, bien qu'interdit dès 1859 déjà, fut la cause de l'aggravation de la situation. Mais le glissement du haut plateau s'est inexorablement mis en marche. Désormais, à chaque inondation le mouvement s'accroît.

Figure 2: Le petit hameau du Mater en 1896, quelques mois avant sa totale destruction

² SIGNORELLI, 1972, pp. 84 et 291

En 1897, tout le petit hameau de Mater s'écroule; une trentaine de personnes sont contraintes d'abandonner leur maison.

L'église paroissiale de Campo, située sur un promontoire du haut plateau, a subi des dégâts importants dans la maçonnerie à cause des affaissements dus au glissement de terrain. Les restaurations en cours sont difficiles et problématiques: il s'agit de sauver un monument historique et artistique. Cette église a été utilisée comme repère pour mesurer le déplacement du haut plateau.

Le glissement³ occupe une surface d'environ 5 kilomètres carrés, sur une épaisseur moyenne estimée à 200 mètres. Il s'agit donc d'un volume de l'ordre du milliard de mètres cubes.

³ Nous utiliserons ce terme, même si la dénomination de "tassement" ou de "glissement en terrain cristallin" serait préférable, parce que c'est la terminologie trouvée dans les textes

3. LES ORIGINES DU PAYSAGE

Une des nombreuses théories qui essaient d'expliquer la morphologie de la région suggère que pendant les temps préhistoriques, toute la vallée, à partir de Cimalmotto jusqu'à Cerentino, était remplie d'éboulis formant un haut plateau à la hauteur de Campo, d'une longueur de 7 kilomètres. Le cours d'eau, avec les millénaires, aurait érodé ce matériel et l'aurait transporté vers l'aval, contribuant à la formation du fond de vallée depuis Cevio jusqu'à Avegno et du delta de la Maggia à Locarno. Cette supposition peut être confirmée par les données relatives à la capacité de transport de la Rovana: depuis 1850 à 1890, le cours d'eau a transporté 50-60'000 mètres cubes de matériel par année, et entre 1891 et 1940 environ 120'000 mètres cubes par année, mais elle est démentie par les récents sondages réalisés dans la masse en mouvement.

Les chercheurs ont présenté des interprétations différentes à propos de l'origine et de la morphologie de la région de Campo.

Une autre hypothèse est illustrée par le schéma de la page suivante (fig. 3). Cette hypothèse prévoit la succession de trois phases distinctes, qui conduisent à la situation actuelle. La dernière phase érosive est précédée par deux phases, pendant des époques préhistoriques, caractérisées par des glissements de matériel rocheux.

Le professeur Lehmann, pendant le siècle passé, a étudié en détail le glissement et la morphologie de Campo. Il a suggéré que la formation de l'actuel haut plateau a été possible grâce à trois éboulements qui se sont détachés depuis les sommets et les versants de la chaîne qui sépare la vallée de Campo de la vallée de Bosco Gurin. Le premier éboulement est descendu à partir de la région du Sasso Rosso en direction SE et a rempli le fond de la vallée avec une couche détritique d'une épaisseur moyenne de 100 mètres environ. Le deuxième éboulement s'est détaché du versant du Pizzo Bombögn, sous forme de glissement de bancs rocheux. Ce matériel, se déplaçant en direction SSE, s'est superposé à la couche qui était tombée avant et a formé ce qu'on appelle la "bosse de l'église", un promontoire sur lequel l'église a été construite.

La forme du haut plateau a été créée par le troisième éboulement: une coulée de débris, qui avec ses 100 mètres d'épaisseur a couvert la partie la plus occidentale des anciens dépôts et a formé la terrasse surélevée de Cimalmotto. Cette couche superficielle de débris, à la lumière des dernières études, semble plus probablement constituée par de la moraine. Cette dernière hypothèse semble actuellement plus exacte par rapport à l'interprétation avancée par Lehmann.

Entre la bosse de l'église et la terrasse de Cimalmotto est restée une petite vallée assez large, exploitée par le torrent S. Giovanni, qui continue à couler. La partie supérieure de cette vallée ouverte a été occupée par le hameau principal de Campo.

La cause des trois éboulements indiqués est à rechercher dans l'action érosive des glaciers, qui ont privé le versant septentrional d'un soutien. Les glaciers ont érodé seulement ce versant parce qu'il présente une structure et une stratification particulière, différente de la stratification visible sur le versant méridional. Le synclinal qui constitue le versant au Nord est en effet plus facilement sujet à l'érosion.

L'interprétation de Lehmann, dans ses grandes lignes, est actuellement acceptée par la plupart des ingénieurs et des chercheurs intéressés au problème du glissement, même si plusieurs théories sont encore en discussion.

Figure 3: Hypothèse sur le développement du glissement de Campo et sur la formation de paysage

L'Institut cantonal de Science de la Terre a analysé les processus liés à l'activité des glaciers et qui ont contribué au remodelage du paysage. L'action des glaciers peut être reconstruite pour l'ère quaternaire. Cette période a été divisée en phases glaciaires (avancée des glaciers, sédimentation importante) et en phases interglaciaires (recul des glaciers, érosion importante). L'influence due à la présence des glaciers peut être résumée en quatre phases:

1. Période glaciaire du Riss (il y a 140'000 ans). Le lit de la Rovana est érodé en profondeur à cause de la pression de l'eau qui coule sous la masse du glacier.
2. Période interglaciaire Riss-Würm (entre 140'000 et 120'000 ans), marquée par une série d'éboulements provoqués par la disparition du soutien rocheux, érodé pendant la période précédente, et par la disparition du glacier, assurant lui aussi un soutien à la masse.
3. Période glaciaire du Würm (entre 120'000 et 10'000 ans). Nouvelle couverture de la vallée par une épaisse couche de glace, suivie par l'accumulation de matériel morainique sur les zones instables et sur les pentes rocheuses.
4. Pendant l'holocène (les derniers 10'000 ans) se vérifie une déformation des couches profondes à cause du poids des matériaux sus-jacents et un lent glissement des éboulis en direction du fond de vallée, érosion de ces dépôts, baisse du lit de la Rovana et érosion superficielle.

La région de Campo présente actuellement un paysage composé par plusieurs plateaux avec une surface irrégulière s'alternant à des hauteurs différentes. Ces replats présentent des particularités géologiques qui peuvent les différencier, mais ces particularités peuvent être résumées et organisées en quatre secteurs qui concernent toute la région.

La partie supérieure est constituée de roches assez instables qui se déplacent le long des plans de schistosité parallèles à la pente (dipslope). Cette partie est extrêmement perméable; le phénomène d'infiltration de l'eau représente un problème important.

Dans la partie intermédiaire le matériel provenant des éboulements est couvert surtout par de la moraine. Les fissures dans le sol sont dues aux mouvements du versant.

La partie inférieure présente une couverture morainique qui cache de la roche altérée à cause de l'eau d'infiltration. Le sous-sol est riche en eau sous pression artésienne.

Le dernier secteur: le front du glissement, constitué par de la roche altérée, de la moraine et des sédiments fluviolacustres, est soumis à l'érosion de la Rovana.

L'origine du haut plateau de Campo, comme on a vu dans ce chapitre, est encore loin d'être connue avec certitude. Plusieurs théories essayent d'expliquer les étapes de sa formation, mais aucune d'entre elles n'arrive à concilier les pensées des différents ingénieurs et spécialistes. Cette incertitude est la conséquence d'une autre lacune: l'absence d'une étude géologique correcte et détaillée.

Figure 4: le complexe système de glissement de Campo et Cerentino

4. LES CAUSES DE L'INSTABILITÉ

4.1. CAUSES NATURELLES

Quatre causes naturelles distinctes peuvent être déterminées. Elles n'agissent en tout cas pas individuellement, mais elles forment un système complexe. Ces quatre domaines se complètent et agissent de façon combinée. Même si nous avons décidé de les distinguer pour une question de clarté, leurs actions et leurs manifestations doivent être conçues comme inséparables, vue qu'elles ne se vérifient pas singulièrement, mais qu'elles constituent un ensemble de causes.

Les principales causes de la formation de tassements dans le Val Rovana sont donc à rechercher, comme l'avait déjà suggéré Heim⁴ en 1897, dans l'action réciproque d'infiltration d'eau dans le sous-sol par la surface et par le bas, de l'érosion provoquée par la rivière, à laquelle s'ajoute une prédisposition naturelle au glissement de toute la masse.

La particularité du glissement de Campo consiste dans la multiplicité des causes qui en sont à l'origine. Il s'agit d'un phénomène assez rare du point de vue géologique.

4.1.1. LE CLIMAT ET L'HYDROLOGIE

Il est difficile de déterminer le rôle exact du climat dans l'évolution du glissement. La relation entre la quantité des précipitations et le mouvement du haut plateau est en tout cas incontestable.

Le climat général du Tessin se caractérise par une répartition irrégulière et concentrée des précipitations sur un nombre limité de jours.

La vallée de Campo, à cause de sa position géographique, représente un des premiers contreforts des Alpes pour les masses d'air chaude et humide, provenant de la région méditerranéenne. Ces masses d'air déchargent d'importantes quantités d'eau.

L'altitude est aussi un facteur qui peut contribuer à l'empirement de la situation. Campo se situe à 1300 mètres s/m. Cette position influence la qualité des précipitations. Pendant l'hiver, la neige assez abondante couvre le haut plateau et, lors de sa fonte, elle va s'ajouter aux précipitations printanières et saturer le sol.

Les données relatives à la pluviométrie (données mesurées à la station de Bosco Gurin) permettent d'observer l'irrégularité de la distribution des précipitations. En effet, pendant la période 1931-1986 (figure 5) la moyenne annuelle des précipitations est égale à 1861 mm, tandis que les valeurs minimales sont de 1255 mm et les valeurs maximales correspondent à 3002 mm. Même si les précipitations dans cette région enregistrent une distribution mensuelle très irrégulière (figure 6), on peut noter qu'un tiers des précipitations tombe pendant les mois hivernaux (octobre-mars) et deux tiers pendant les mois estivaux (avril-septembre).

Les périodes les plus dangereuses et qui enregistrent les mouvements les plus rapides sont la fin du printemps et le début de l'automne.

⁴ Albert Heim, géologue, considéré comme le père de la géologie appliquée en Suisse

Figure 5: précipitations annuelles (mm) de 1931 à 1986

Figure 6: précipitations mensuelles (mm) de 1931 à 1986

4.1.2. L'HYDROGÉOLOGIE

La présence dans le sous-sol d'une surpression hydraulique de l'ordre de 30 bar, alimentée par les bassins hydriques de Campo et de Bosco Gurin et par l'imbibition naturelle du terrain, avait déjà été pressentie par A. Heim et fut confirmée par deux sondages exécutés en 1962 et 1963.

L'eau qui pénètre dans la masse détritique agit comme de l'huile lubrifiant, elle s'insère entre les débris et les fait glisser les uns sur les autres.

Les précipitations sont encore plus dangereuses par rapport aux torrents qui coulent sur le haut plateau, parce que les pluies se répartissent, s'infiltrent et agissent de manière uniforme sur toute la surface.

Les surpressions artésiennes, alimentées le long des fractures orientées NNW-SSE, tendent à s'accroître en étant le drainage naturel insuffisant. Après un certain seuil, une augmentation ultérieure due à un événement météorologique important provoque le mouvement de la masse. Les déformations conséquentes amènent à une réduction des pressions et donc à un ralentissement du mouvement. Naturellement cet équilibre est aussi influencé par ce qui se passe au pied du glissement. Le matériel qui glisse tend à stabiliser le pied du front, mais suite à des événements météorologiques extrêmes, la Rovana érode ce matériel et provoque le redémarrage du mouvement. Il s'agit d'un véritable cycle, qui a été probablement activé par le flottage du bois.

Comme on a vu, la progression de la masse en mouvement provoque, sur le fond de vallée, l'inévitable érosion fluviale. La rivière, en période d'inondations, devient un formidable moyen de transport de matériel solide.

Depuis le temps des ères glacières, le haut plateau de Campo est sujet à l'érosion. Au début, le phénomène érosif a été introduit par les glaciers. Ensuite, après que les glaciers ont fondu, c'est l'eau, la Rovana, qui a continué l'œuvre érosive.

L'érosion est telle, qu'on estime, pour les dix dernières années, à plus d'un million de mètres cubes le matériel prélevé dans le glissement de Campo et accumulé dans le lit de la Maggia, en aval de Cevio. Et ce n'est pas tout: une érosion de telle intensité, en plus de rendre impossible la formation d'une base solide et donc la stabilisation de la masse en mouvement, avec le temps, en provoque carrément l'affaiblissement, ainsi que la formation d'un front toujours plus vaste.

La Rovana possède un régime très irrégulier de type nival, avec des pointes maximales pendant les mois de mai-juin et des minimums pendant les mois de décembre-janvier. Les mois de mai, juin et juillet assurent plus de 50% du débit annuel.

Des études ont mis en évidence l'existence d'une bonne corrélation entre la quantité de neige tombée en hiver et le débit de la rivière de l'été suivante. Les déviations et les exceptions sont dues aux violentes précipitations orageuses en période estivale; ces événements extrêmes ont une répercussion immédiate sur la valeur du débit.

Le débit moyen est de 4 mètres cubes/sec, mais en 1965 il a atteint 110 mètres cubes/sec et en 1975 300 mètres cubes/sec. La puissance érosive et la capacité de transport de la Rovana, pendant les crues,

Figure 7: diagramme de Hjulström

peuvent devenir assez impressionnantes. La comparaison entre les données relatives au débit de la Rovana et le graphique de Hjulström met en évidence cette remarque.

Le lit de la Rovana a baissé de 100 mètres en 40 années, depuis 1854 jusqu'à 1892. Cette donnée exprime exactement la force érosive du cours d'eau, qui au paravent n'était pas si intense.

Si la rivière avait toujours érodé avec l'intensité enregistrée pendant cette période récente, le haut plateau de Campo aurait presque entièrement disparu. On peut se demander pourquoi l'érosion a augmenté si fortement. La cause de cette accélération, outre le flottage du bois, doit être recherchée dans un éboulement qui, en 1867, a dévié la Rovana (éboulement du

Figure 8: débit (en m³/sec) de la Rovana à Linesco

Caudariscio). Cet éboulement s'est détaché du versant opposé au village de Campo et a déplacé le cours d'eau en direction du versant instable. Les eaux ont trouvé un terrain beaucoup moins résistant et compacte et donc plus facilement sujet à l'érosion.

4.1.3. LA GÉOLOGIE

Avec la surrection de la chaîne alpine, se forme le réseau hydrographique, dont l'érosion se concentre sur les zones plus faibles du point de vue lithologique. La Rovana suit aussi cette règle; dans la zone de Campo, elle s'est en effet placée le long du contact tectonique qui sépare la série de Bosco (paragneiss et gneiss schisteux avec des intercalations de prasinite et d'amphibolite) de la série d'Antigorio (orthogneiss et gneiss granitiques).

Le contact entre ces deux zones est marqué par la présence de couches lubrifiantes triasiques (dolomies, marbre, calcschistes avec des intercalations d'amphibolite).

Le professeur Luca Bonzanigo, directeur de l'Institut d'Hydrogéologie Cantonal, présente le glissement de Campo de la manière suivante: "Le glissement de Campo, situé dans les nappes penniques, est constitué de grandes plaques de roches cristallines métamorphiques, dissociées de la roche en place et plus ou moins altérées. Le glissement s'étend sur environ 5 kilomètres carrés, et comporte une épaisseur comprise entre 150 et 200 mètres. Un système tectonique complexe intéresse les formations en place, et alimente le glissement en surpressions hydrauliques artésiennes qui sont, de l'avis de l'auteur, la cause primaire du phénomène d'instabilité. Les eaux présentant des taux très élevés en hydrogène (3,87%), et des caractéristiques isotopiques particulières"⁵.

La multiplicité et l'hétérogénéité des roches (formations amphibolitiques, schisteuses, carbonatées, différents types de gneiss,...) est aussi une cause qui rend le versant particulièrement instable. La masse en mouvement est composée par des panneaux de roche plus ou moins altérée, à dépendance de sa nature minéralogique et tectonique. Une importante intercalation d'amphibolites accompagnés par des roches métacarbonatées a été déterminée. Le profil géologique illustré à la page 16 n'illustre pas cette alternance de formations amphibolitiques et carbonatée. Ces roches sont comprises dans la couche définie comme "base des gneiss altérés".

⁵ BONZANIGO, 1990, p. 10

Les panneaux de dimension hectométrique, mesurant des dizaines de mètres d'épaisseur, glissent les uns sur les autres le long de lignes de glissement, déterminées par le contact entre roches de type différent ou présentant un différent degré d'altération.

Les plans de schistosité s'organisent en direction SSE et présentent une inclinaison comprise entre 30 et 40 degrés, tandis que les principaux systèmes de fractures ont une direction NNW-SSE. Quelques anomalies s'observent au voisinage de ces grandes failles à mécanisme partiellement plastique. Un système parallèle au précédent, à mécanisme rigide, détermine un intense système de diaclases de même orientation, concentrées au voisinage des failles. Des failles de deuxième et troisième ordre, associées au système rigide principal, sont aussi observables en surface, accompagnées par leur système de diaclases parallèle. Un intense système de diaclases de relaxation postglaciaire, subverticale et parallèle à l'axe de la vallée, vient compléter le tableau. Ce contexte tectonique est, selon Luca Bonzanigo⁶, gravement responsable de la dissociation de grands parallélépipèdes de roche de dimensions décamétriques à hectométriques, glissants les uns sur les autres le long de la schistosité et des différentes diaclases.

Une grande diversité lithologique facilite, elle aussi, cette division en panneaux, et contrôle la manière dont ils s'altèrent dans le temps et l'espace. Le mécanisme de dissociation est contrôlé en premier lieu par la schistosité et le système de diaclases de relaxation postglaciaire. Il en résulte une disposition dont le modèle comporte des analogies avec les failles listriques. Le troisième élément de contrôle est le système de fissuration lié à la tectonique rigide. Les grands panneaux de roches cristallines ainsi définis sont plus au moins fracturés selon la composition pétrographique. La diaclase très ouverte qui en résulte, facilite l'altération chimique, au point de transformer le complexe cristallin en une série de terrains meubles, conservant néanmoins sa disposition lithologique initiale.

Seul la partie superficielle du haut plateau est constituée par des sédiments qui se sont déposées pendant ou après la dernière glaciation: moraines, dépôts lacustres, éboulis, alluvions,... Ce terrain meuble, d'origine quaternaire, a tendance à glisser vers la vallée, en s'appuyant sur la couche de gneiss très altérés qui couvre à son tour une série un peu plus compacte (formations amphibolitiques et carbonatées). Ces trois couches s'appuient sur une couche bréchique. Cette couche n'est pas composée par du matériel dénoué au sens strict (moraine, alluvions, éboulis,...), mais par de la roche intensément altérée, un matériel ayant l'apparence d'une roche saine, mais qui se désagrège complètement avec la seule pression de la main.

Cette incohérence, qui implique une incapacité des roches de rester en place, est une cause fondamentale de l'instabilité.

Le socle de roche en place, constitué par du gneiss, n'est que partiellement compact, parce qu'il a été soumis à la pression du glacier et est actuellement soumis à la pression des matériaux sus-jacents. Il s'agit donc d'une roche assez altérée, qu'une fois imbibée d'eau peut devenir un plan de glissement pour les sédiments supérieurs.

L'eau qui pénètre dans les sédiments, comme on a vu, rend la masse détritique extrêmement fluide.

⁶ BONZANIGO, 1987, p. 2

Figure 9: profil géologique

4.1.4. LA FORÊT

La forêt assure une protection contre l'érosion et les éboulements. Dans les régions boisées le processus érosif est limité, l'eau et le vent n'arrivent pas à emporter la couche fertile du sol parce que les arbres retiennent la terre grâce à leurs racines, de plus ils diminuent le flux d'eau en surface et la vitesse du vent. L'action de pompage des racines des arbres empêche l'eau de pénétrer dans le sol en profondeur. Cette caractéristique des arbres est importante surtout dans les zones particulièrement argileuses. Les couches d'argile absorbent en effet l'eau avec facilité, elles deviennent meubles et favorisent les glissements.

La forêt règle aussi le régime hydrique du paysage. Dans le cas de précipitations abondantes, moins de la moitié de l'eau arrive au sol, le 60% est intercepté par le feuillage, évapore en partie et atteint lentement le sol. Le terrain mou de la forêt favorise l'absorption d'une grande quantité d'eau et réduit les écoulements superficiels, qui alimentent les torrents et qui provoquent les crues des grosses rivières.

L'important rôle de la forêt est souligné par la citation suivante: "L'action stabilisatrice d'un couvert végétal, et notamment d'une forêt, sur un versant, préventivement, ou en guise de remède, est un fait acquis chez les scientifiques et les techniciens, et les services forestiers, des pays de montagne affectés par des glissements ont entrepris depuis longtemps des reboisements, là où la déforestation est précisément rendue responsable de l'aggravation des phénomènes"⁷.

Le même auteur écrit aussi: "La déforestation n'est pas seulement une cause d'augmentation de la fréquence des glissements ou laves torrentielles, du volume des débris déplacés ou transportés, elle peut fixer l'emplacement de glissements. La présence de la forêt n'est cependant pas toujours ni partout une garantie de stabilité du terrain."

Ramadé⁸ affirme que: "La destruction des forêts bouleverse à un tel degré les processus écologiques fondamentaux que la fréquence et l'ampleur d'un grand nombre de catastrophes réputées à tort naturelles s'en trouvent considérablement augmentées. Ces dernières résultent en majeure partie des dérèglements du cycle de l'eau consécutifs au déboisement."

Figure 10: conséquences de la déforestation

⁷ FLAGEOLLET, 1989, pp.188-9

⁸ Cet auteur a été souvent cité dans KELLER [et al.], 1997, mais l'orientation bibliographique a été omise

"Le sol et la végétation jouent en fait un rôle crucial dans le fractionnement des précipitations en trois compartiments principaux: l'évaporation, le ruissellement et l'infiltration au travers des sols puis des roches mères qui alimentent les nappes phréatiques et ultérieurement les cours d'eau. La coupe rase de la forêt réduit l'évapotranspiration et l'infiltration tandis qu'elle accroît dans de considérables proportions le ruissellement."

"On constate que même sur de fortes pentes et sur un substrat constitué par des sédiments susceptibles de se gorger d'eau à l'excès lors de périodes anormalement pluvieuses, la couverture forestière stabilise parfaitement les sols, de sorte que, où il existe une forêt primitive, le sol résultant résiste aux agents érosifs. En revanche, dans les zones où la forêt a été détruite, les périodes de précipitation excessive provoquent une érosion des sols (coulées de boue) et des glissements de terrain catastrophiques."

Un territoire dépourvu de végétation ou une région qui a vu ses bois exploités, sera alors fortement soumise au pouvoir érosif des éléments naturels. La coupe de bois est donc un facteur déterminant, qui modifie et accélère la capacité érosive du vent et surtout de l'eau.

Figure 11: importance de l'évaporation et de l'infiltration en rapport à la couverture végétale du sol et à la pente du terrain

4.2. CAUSES HUMAINES

La revue "La Recherche"⁹ présente un article concernant l'action de l'homme sur la nature. On peut lire: "Une dégradation d'origine anthropique du milieu naturel et une expansion urbaine irréfléchie, sont les deux causes principales d'une vulnérabilité accrue. La pression démographique et les déficiences politiques ne font que les exacerber. La frénésie de déboisement favorise l'érosion des sols et la désertification.

4.2.1. LA COUPE ET LE FLOTTAGE DU BOIS

Aux causes purement naturelles, il faut ajouter l'influence directe de l'homme qui, à travers la coupe et le flottage du bois, s'est rendu responsable de l'aggravation de la situation à Campo. La coupe du bois, pratique fortement répandue pendant le siècle passé, présente des conséquences facilement imaginables, que nous avons déjà présentées dans le chapitre 4.1.4. concernant l'importance de la forêt.

Le flottage du bois, comme on le verra, contribuera lui aussi, tout comme la coupe, à l'aggravation de la situation, à l'érosion et à l'avancée du front du glissement en direction du village.

La commune de Campo n'est pas restée à l'abri des spéculations à caractère économique liées au commerce du bois. Pendant la moitié du siècle passé, le bois constituait l'une des ressources les plus rentables, un bien collectif indispensable pour améliorer les faibles revenus d'une population, dont les conditions économiques et sociales étaient difficiles.

À cette époque, Campo était pratiquement isolé; aucune route carrossable y arrivait et la liaison avec la partie basse de la vallée était assurée par un chemin qui pouvait être parcouru uniquement à pied.

Les conditions de vie en ces régions étaient dures. Pour offrir un complément au faible revenu de l'agriculture de subsistance, pour surmonter la crise due à la perte des marchés de la Lombardie et du Piémont et pour limiter la disproportion entre l'effectif des hommes disponibles et les possibilités d'emploi (accentuée suite à l'expulsion de la Lombardie de 6000 émigrants tessinois), l'assemblée du "Patriziato"¹⁰ se vit obligée de vendre ses bois.

De nombreuses entreprises étaient intéressées aux bois de Campo. La vente aux enchères publiques enregistra une participation inespérée et les offres proposées par les marchands allèrent au-delà des prévisions.

Monsieur Patocchi, Commissaire du Gouvernement pour le Valmaggia entre 1844 et 1872, remporta la concession pour exploiter les bois du territoire de Campo. En plusieurs occasions, comme on le verra, il profita de sa position privilégiée et de son influence pour résoudre les problèmes qui se posaient.

En 1850, Giuseppe Patocchi avec son ami Bernardo Pfiffer Gagliardi, constitua une société pour l'exploitation des bois de Campo. La coupe de ces bois, comme on le verra par la suite, aura des conséquences dramatiques.

L'argent affluait dans les caisses du Patriziato; une partie fut divisée entre les familles qui en font partie, une autre partie fut utilisée pour éponger des anciennes dettes et pour commencer la construction de deux édifices scolaires.

⁹ "Risques naturels et technologies", supplément de la revue La recherche, n° 212 juillet-août 1989, cité dans KELLER [et al.], 1997, p. 80

¹⁰ Organisme de droit public qui réunit les familles originaires de la commune intéressée

La coupe des premières parcelles commença en 1852. Les travaux avancèrent rapidement et déjà durant la même année, le 17 octobre, l'assemblée fut convoquée pour discuter la requête des marchands d'obtenir les troncs pour la construction de deux barrages¹¹.

L'autorisation de couper cent arbres fut octroyée à l'entreprise pour un prix global de deux mille francs.

Dans ces années commença une série infinie d'infractions commises par l'entreprise Patocchi-Gagliardi: coupe de bois sans permission et hors des limites fixées, non-paiement d'amendes, non-respect des accords stipulés avec les autorités, ...

L'entreprise était prête pour commencer le transport des troncs, elle reçut en effet l'autorisation de couper les arbres pour la construction des barrages en 1852 déjà.

Figure 12: une "serra" avec les deux ouvertures pour permettre le passage de l'eau et le transport des troncs accumulés devant le barrage

Au printemps de 1855, quand les marchands demandèrent au Gouvernement l'autorisation de réaliser un barrage, ils en avait déjà construit un, avec une hauteur de 12 mètres et une longueur de 84 mètres, qui bouchait la Rovana à l'amont de Campo. Ils reçurent la permission alors qu'une partie du bois avait déjà atteint le Lac Majeur.

Les responsables de l'entreprise garantissaient que, vu la nature des lieux concernés, le transport des troncs n'aurait provoqué aucune sorte de dégâts.

L'autorité cantonale chargea l'ingénieur Peri de procéder à une expertise, pour décider si la possibilité d'exploiter les barrages pouvait être accordée aux marchands. Le rapport de l'ingénieur souligna la totale absence de problèmes liés à l'utilisation de ces structures, vu que, selon l'expertise, les côtes et le fond de la vallée aux pieds de Campo étaient constitués de roche en place.

Malgré ces observations extrêmement rassurantes, les autorités exigèrent que l'entreprise Patocchi-Gagliardi se chargeât des quelques travaux nécessaires à la protection des endroits indiqués par l'ingénieur Peri et que les barrages soient détruites dès que les troncs auront été chassés.

Les barrages ne furent pas détruits, mais en plus ils furent utilisés pour le transport de troncs provenant d'autres vallées proche de Campo. L'entreprise Patocchi-Gagliardi acheta en effet et s'occupa aussi de la coupe des bois du Cravairola, en Italie.

À la fin de mai de 1856, les vannes des barrages s'ouvrirent à nouveau et envoyèrent le matériel au lac. L'opération provoqua des dégâts, qui furent à ce moment considérés comme insignifiants.

¹¹ Pour transporter les troncs vers l'aval, un barrage était construit dans le lit du cours d'eau. A l'arrière du barrage (nommé "serra") se créait un lac artificiel. Au centre du barrage étaient réalisées deux fenêtres carrées, fermées par des volets résistants. Il suffisait ouvrir ces deux volets, pour que l'eau, sortant avec une pression énorme, investissait les troncs accumulés devant le barrage et les transportait en direction des lieux de vente

Les autorités exigèrent de l'entreprise qu'elle se charge de la réparation des dégâts: de nombreux chemins ont été interrompus ou endommagés et le bétail n'arrivait pas à rejoindre les alpages.

Les dégâts ne se limitaient pas seulement au territoire de Campo, mais aussi à l'embouchure de la vallée latérale, à Cevio, village qui a vu l'un de ses ponts s'effondrer.

Les marchands continuèrent leur activité sans se préoccuper des conséquences, mais en 1857, pour la première fois, la population se rendit compte des dégâts que les barrages ont provoqué aux berges qui "canalisaient" le cours d'eau.

L'utilisation des barrages fut intense en 1857. Le flottage des troncs provoqua sous le village de Campo des dégâts qui commencèrent à préoccuper la population. En même temps, d'autres communes du Valmaggia se plaignaient, non pas pour les dégâts matériels, mais à cause des désordres créés par les bûcherons qui suivaient les troncs et qui passaient la nuit dans les différents villages du bas de la vallée.

Les alarmes augmentèrent durant l'automne, saison qui correspondait à la reprise des flottages. La commune de Cerentino s'adressa au Conseil d'État en disant que la pente au pied du village était en train de s'écrouler, l'érosion risquait donc de causer un éboulement qui aurait pu boucher la vallée dans laquelle coulait la rivière, avec des conséquences facilement imaginables. Le Conseil d'État chargea l'ingénieur Frascina de rédiger un rapport: l'utilisation des barrages de Campo fut indiquée comme une des causes du phénomène.

Le même problème fut ensuite observé à Campo, les causes étaient les mêmes, mais l'intensité et la gravité du phénomène étaient dans ce cas beaucoup plus préoccupantes.

L'érosion naturelle du cours d'eau était fortement amplifiée par l'action des barrages, la berge qui ne présentait qu'une faible proportion de matériel rocheux était facilement emportée à cause de la collision des troncs contre les berges.

Le rapport de l'ingénieur Frascina contenait plusieurs propositions d'intervention; le Conseil d'État accepta la réalisation de tous ces projets.

Au début d'octobre, les marchands demandèrent et obtinrent la permission pour le flottage de nouveaux troncs, pour éviter, disaient-ils: "que les habitants de Cimalmotto nous volent le bois".

Comme d'habitude, au moment de la requête de la concession, les vannes du barrage avaient déjà été ouvertes. Les marchands cherchaient des justifications aux dégâts provoqués par le flottage, mais le Conseil d'État décida de promouvoir une autre inspection par un groupe d'ingénieurs et décida de prohiber l'utilisation des barrages.

Les résultats du rapport des ingénieurs étaient cette fois extrêmement intéressants et précis. Les causes de l'affaissement du replat de Campo ne dépendaient pas seulement de l'action des barrages, mais aussi de l'infiltration d'eau dans le sol et de la nature même du matériel qui constituait le replat de Campo. Les ingénieurs soulignaient la nécessité absolue d'intervenir avec la construction d'ouvrages de protection le long du bord gauche de la rivière et du drainage des eaux d'infiltration. L'assèchement des terrains marécageux était aussi une priorité absolue.

Le 21 novembre 1857, les parties s'accordèrent et décidèrent que ces travaux devaient être réalisés entièrement par l'entreprise Patocchi-Gagliardi, afin qu'elle pût finalement épuiser les dettes et réparer les infractions et les dégâts commis.

On peut facilement distinguer les deux intérêts qui s'opposent: d'un côté les nécessités de la population de Campo et de ses autorités et de l'autre côté les intérêts de l'entreprise, qui devait encore transporter vers le lac une importante quantité de bois, accumulé à l'amont du front du glissement. Les marchands cherchaient par tous les moyens à minimiser les dégâts et nier les dangers.

Interdire l'utilisation des barrages, même en oubliant le dommage financier pour les marchands, semblait la solution la plus dangereuse; en effet une crue naturelle aurait pu transporter simultanément tout le matériel accumulé et provoquer une vraie catastrophe.

L'entreprise utilisa à nouveau le barrage, même en période de crue, sans que les œuvres de protections prévues ne furent réalisées.

Le mécontentement et les critiques commençaient à devenir plus répandus, les marchands décidèrent alors de s'occuper de la construction des ouvrages de protection prévus au pied de l'habitat de Campo. Une barrière fut construite de façon à ce que l'eau et les troncs n'entraient pas en contact avec le front du glissement, en plus le versant opposé fut élargi et un petit canal y fut creusé: la rivière aurait donc dû couler préférentiellement de ce côté.

Le 26 juillet 1858 un nouveau rapport affirma que l'activité du barrage avait créé une soudaine et importante érosion supplémentaire du front du glissement. L'utilisation de la construction fut suspendue et interdite. En tout cas l'entreprise Patocchi-Gagliardi continua l'exploitation de ce barrage artificiel, malgré l'interdiction.

Les autorités demandèrent des explications; les marchands cherchaient des justifications et décidèrent d'appliquer une autre tactique: adressèrent aux autorités la demande de construire un nouveau barrage à l'aval de Campo. La requête fut acceptée, mais à condition que l'entreprise se chargeât des travaux de protection nécessaires pour éviter de nouveaux dégâts dans la partie inférieure de la vallée.

Plusieurs chercheurs et ingénieurs (Luigi Lavizzari, Elias Landolt,...) visitèrent Campo et présentèrent leurs rapports détaillés. Le professeur Kulmann écrivit entre autre: "Rien n'est plus nuisible pour les bords d'un cours d'eau, que le matériaux qui flottent et qui sont transportés par des crues périodiques et artificielle; ces dernières étant plus importantes et dangereuses que les naturelles, elles entraînent rapidement les matériaux fins, qui seraient transportés lentement. Lors des crues naturelles les matériaux meubles descendent et arrivent dans le lit du cours d'eau, qui résiste facilement, étant normalement constitué de gros blocs. Au contraire, les matériaux flottants transportés au moyen des inondations artificielles, provoquent une action extrêmement néfaste à la surface de l'eau et érodent le terrain peu résistant des berges".

Suite à une nouvelle série de coupe de bois et de transport abusif, le 2 février 1859, l'assemblée du Patriziato décida d'arrêter l'activité de l'entreprise. Elle adressa une amende à monsieur Patocchi, que cette fois ne put éviter de payer. Pour l'entreprise, le chapitre Campo était terminé. Elle cherchera maintenant, dans d'autres communes, de nouveaux bois à dénuder.

La suppression des barrages de Campo, en 1859, marque donc la fin de l'activité des marchands de bois en Val Rovana, qui s'étaient prolongée, avec une alternance de litiges, discussions, dénonciations, expertises et interdictions, pendant une décennie.

5. ÉVOLUTION HISTORIQUE DU GLISSEMENT

Le glissement de Campo pose essentiellement deux problèmes: avant tout un problème limité au seul haut plateau de Campo. Une deuxième problématique, liée à la première, est représentée par la menace que le glissement constitue pour tout le Valmaggia. En effet, en plusieurs occasions, le matériel érodé à la hauteur de Campo a été déposé dans la plaine de Cevio, provoquant de nombreux problèmes.

Figure 13: Le cours d'eau Rovana transporte une énorme quantité de sédiments dans la zone de Cevio, dont l'habitat est soumis à un danger réel

Au début du 1800, la forêt et les pâturages descendent jusqu'à la rivière. Le lit de la rivière se trouve à environ 30 mètres au-dessous du village. À cause de l'intense exploitation des forêts et du flottage du bois, le lit de la rivière descend de 30 mètres en 50 ans.

Les textes écrits nous témoignent qu'en 1834 et 1839, deux crues favorisent et accélèrent l'œuvre érosive au pied du haut plateau de Campo. Le glissement, après des années de repos, reprend ses manifestations, juste dans l'ère de l'"homo sapiens". Quelques années plus tard, entre 1850 et 1859, comme on a vu, l'activité humaine a contribué directement à augmenter l'action du cours d'eau. L'abus des moyens de flottage, même en n'étant pas la cause unique, a déterminé une condition favorable à la reprise du mouvement de glissement.

En 1867 un éboulement se détache du versant opposé au village de Cimalmotto; le matériel occupe le fond de la vallée, le cours d'eau est dévié et déplacé en direction du haut plateau de Campo. Les eaux, dans leur nouveau lit, trouvent un terrain plus fragile que le précédent et donc plus facilement sujet à érosion. L'activité érosive s'accélère rapidement et atteint des dimensions inconnues. En 1818, la Rovana coulait à 20-30 mètres de la limite du haut plateau. En 1892, le cours d'eau se trouve à une distance de 150 mètres, c'est-à-dire 120 mètres plus bas. Naturellement, à l'érosion verticale du cours d'eau correspond, d'un côté l'augmentation et l'aggravation de la pente qui constitue le front du glissement et d'autre côté un affaiblissement du "socle" qui limite le glissement du plateau. Le cours d'eau transporte petit à petit le

matériel érodé, les effets sont aussi visibles sur le delta de la Maggia, qui a enregistré, en ces années, un rythme d'extension très supérieur à la normalité.

Le déplacement du plateau et l'érosion de la Rovana diminuent après l'exécution de quelques travaux de consolidation du pied du versant entre 1888 et 1891. Le ralentissement du phénomène donne de l'espoir à la population et l'impression que le territoire est en train de se stabiliser. La population n'avait pas compris que la pause était seulement la conséquence des quelques années avec des faibles précipitations. En effet, en 1897, les problèmes recommencent. Cette année enregistre un hiver particulièrement rigoureux et riche en précipitations à caractère neigeux. Au printemps, la fonte de l'abondante couche de neige, provoque une humidification extrême du terrain. Les pluies fréquentes en augmentent l'imbibition au point que, au début de l'été, le village commence à bouger. Les dégâts sont énormes, des maisons risquent de tomber, les chemins deviennent impossibles à parcourir, les protections construites le long de la rivière sont détruites.

En 1897, le professeur Heim s'occupe finalement d'étudier le phénomène de façon scientifique et présente une expertise assez fiable et détaillée. À la vue de l'impressionnant spectacle il aurait exclamé: "J'ai peur qu'ici la nature soit plus forte que l'homme". L'importance de sa recherche est fondamentale, elle représente le premier travail de rigueur scientifique, qui déterminera et guidera les interventions futures.

Selon Heim, l'origine du mouvement remonterait à des époques préhistoriques. La présence de matériaux morainiques entre les couches, à profondeurs différentes, nous montre que le glissement était déjà actif à des périodes antérieures à la dernière glaciation (il y a plus de 10'000 ans).

La dernière partie de son rapport prévoit un probable scénario futur.

Il est intéressant de confronter sa prévision extrêmement dramatique avec la réalité de nos jours.

Heim écrit: "Tous les moyens employés pour ralentir ou arrêter le mouvement ne peuvent montrer leur efficacité d'aujourd'hui à demain, non plus d'un mois à l'autre, même s'ils sont les plus efficaces et résistants. Même dans la meilleure des hypothèses les effets du mouvement continueront à se manifester. Si en hiver la couche neigeuse sera à nouveau importante et le printemps riche en précipitations, une progression des dégâts sera inévitable. Le village de Campo se déplacera de plus en plus en direction du front du glissement, les maisons devront être abandonnées et Campo restera désert.

Les habitants de Campo ne sont en aucun cas soumis à un danger soudain et imprévu. Si le phénomène sera correctement évalué, il existera toujours la possibilité de s'enfuir. Il ne faut pas non plus s'habituer trop au danger; il faut savoir abandonner la maison si elle menace de tomber. Bref: il ne faut pas s'attendre à une catastrophe avec des victimes humaines, mais plutôt une destruction lente et progressive de toute la localité, dans la pire des hypothèses déjà au cours du prochain été (donc en 1898), plus probablement dans quelques décennies".

"Si le cours d'eau se trouve encore dans la condition d'arracher au front du glissement le matériel qui le constitue", dit encore Heim, "tout ce matériel s'accumulera à Cevio; la dévastation depuis Bignasco jusqu'à Locarno dépassera naturellement les dégâts pour le village de Campo". Tout le Valmaggia payera donc les conséquences d'un problème géographiquement délimité.

Le rapport se conclut avec des propositions d'intervention; malgré Heim comprenne l'utilité des protections le long du cours d'eau, il insiste afin que les travaux se concentrent sur la captation des eaux d'infiltration.

Dès 1900, le mouvement est irrégulier, selon la situation météorologique du moment, après environ deux décennies de relative tranquillité, le mouvement reprend en 1921. En 1927,

l'Office Fédéral de Topographie, installe un système de triangulation et commence une série de mesures périodiques. Après 1940 c'est le Département Cantonal des Constructions qui se charge des mesures. Les données récoltées permettent une évaluation quantitative du phénomène et l'identification des zones les plus exposées.

Les ingénieurs ont déterminé que le mouvement se vérifie pendant les années avec des précipitations abondantes et que la vitesse maximale de glissement est atteinte pendant l'année qui suit. Quelques années relativement sèches suffisent pour que le phénomène s'arrête complètement. En 1936 se constitue le «Consorzio di sistemazione dell'altipiano di Campo e Cimalmotto» ou «Consortium pour l'aménagement du haut plateau de Campo et Cimalmotto» qui réunit 21 organismes¹².

En 1936, la région de Campo a été reboisée pour éviter les éboulements continus. Le mouvement s'est de toute façon accentué durant cette même période, de 1937 au 1940, trois années pendant lesquelles l'église paroissiale de Campo s'est affaissée verticalement de 160 centimètres et s'est déplacée horizontalement, vers la vallée, de presque 7 mètres (690 centimètres!).

Figure 14: affaissement de l'église de Campo de 1890 à 1986

La dimension du glissement principal est augmentée et plusieurs glissements secondaires se sont formés au-dessus du village de Campo et mettent directement en danger le village. Un programme d'intervention forestière est étudié, environ 20 hectares de forêt sont reboisés, 7 kilomètres de canaux d'assèchement et toute une série d'œuvres de stabilisation du terrain sont réalisées.

Le problème se pose à nouveau, avec toute son intensité dramatique entre 1959 et 1960, en moins d'une année, l'église de Campo enregistre un déplacement de 102 centimètres. Il faut absolument intervenir et comprendre dans quelle mesure les deux facteurs: érosion et infiltration sont interdépendants. En 1962, le Département des Constructions Publiques, d'entente avec les services fédéraux intéressés, considérée la gravité de la situation, constitue un groupe de travail qui se charge d'examiner le problème.

Les travaux commencent immédiatement. Deux sondages, qui pénètrent dans la masse du glissement jusqu'à une profondeur d'environ 200 mètres sont réalisés. Ces sondages permettent d'observer la présence dans le sous-sol, à l'intérieur de la masse détritique, d'eaux

¹² Plus en particulier il s'agit de: Patriziato de Campo, commune de Campo, commune de Cevio, commune de Someo, commune de Giumaglio, commune de Coglio, commune de Lodano, commune de Maggia, commune de Moghegno, commune d'Aurigeno, commun de Gordevio, commune d'Avegno, commune de Losone, commune d'Ascona, commune de Locarno, Consortium corrections rivière Maggia, Direction du circondaire des téléphones (Bellinzone), chemin de fer du Valmaggia, usines hydroélectriques de la Maggia (OFIMA Locarno), société électrique du Sopraceneri (S.E.S.), État du Tessin

artésiennes à forte pression et soulignent l'influence de ces eaux sur le mouvement du territoire. On estime que l'érosion de la Rovana produit en moyenne une extirpation de matériel correspondant à 50-60'000 mètres cubes par année.

Le 7 août 1978, l'énorme crue qui se reverse sur le Tessin et qui provoque d'énormes dégâts dans tout le Valmaggia, n'épargne pas la Rovana. Après la crue, le versant qui supporte le haut plateau de Campo offre un spectacle incroyable: des zones qui avaient été précédemment épargnées par l'érosion, ont été, elles aussi, touchées par ce phénomène. Au-dessous du village de Cimalmotto, la crue provoque un éboulement de plus de 40'000 mètres cubes. Un peu plus bas, l'érosion opérée par le torrent San Giovanni, avant d'affluer dans la Rovana, produit un immense gouffre de 120 mètres entre Campo et Cimalmotto. La végétation, qui avait poussé pendant les décennies passées sur le versant du glissement et qui lui avait garanti une certaine stabilité, disparaît. Plus à l'aval, le cours d'eau coule dans un passage assez étroit; à cause de cette morphologie, se forment des barrages, qui augmentent fortement la puissance érosive et détruisent une surface boisée assez étendue à la hauteur du hameau de Piano. La crue a donc augmenté l'importance du glissement, qui mesure environ 1,5 kilomètres, à partir de Cimalmotto jusqu'à Piano. Pour la commune de Campo c'est l'occasion pour réintroduire la problématique et capturer l'attention des autorités cantonales, en effet le phénomène n'est plus seulement limité à la zone de Campo, mais concerne directement tout le Valmaggia et en particulier la commune de Cevio. Ce village enregistre d'énormes dégâts: l'important volume de matériaux transporté par la Rovana s'accumule en effet sur la plaine de Cevio.

Le 13 octobre de 1979, un nouvelle crue, aussi dévastante que celle de 1978, s'abat sur la Rovana. La plaine de Cevio se couvre à nouveau de matériaux, dont la quantité est peu inférieure à celle de l'année précédente. Les dégâts les plus importants et l'érosion la plus poussée se concentrent à l'embouchure du torrent San Giovanni et au-dessous du village de Cerentino. Le glissement qui menace ce village, déjà connu en 1856, favorisé par le flottage du bois, a été la source principale des matériaux transportés à Cevio en 1979. Après l'interdiction du flottage, le mouvement s'était presque arrêté, mais les abondantes précipitations de 1977 et 1978 ont réactivé le phénomène. La dynamique du mouvement est analogue à celle de Campo. À chaque crue la situation s'empire considérablement. Les fentes qui se forment sur la route qui traverse le village de Collinasca le témoignent. Cette route a dû être fermée.

Après les inondations de 1960, mais surtout de 1978 et 1979, la situation a donc considérablement empiré, en s'étendant à la région de Cerentino. La population et les autorités sont de plus en plus inquiètes. Le phénomène s'est ultérieurement aggravé en 1987: le 24 et le 25 août à Campo, des précipitations intenses ont lieu, provoquant des écoulements extrêmes pour le cours d'eau Rovana et pour ses affluents. Durant cette seule année, l'église paroissiale (utilisée comme point de repère essentiel) a subi un affaissement vertical de 26 centimètres et s'est déplacée horizontalement d'un mètre. Globalement, en moins d'un siècle, on constate un déplacement impressionnant du haut plateau de Campo: une translation horizontale de 27 mètres environ avec un affaissement de 6 mètres et demi environ (données statistiques de mesures): on peut se demander comment font les maisons pour être encore debout.

Aujourd'hui, le glissement de Campo est un gouffre impressionnant de la profondeur de 100/120 mètres, qui s'étend de la zone située au-dessous des Monti Pianelli, à l'ouest de Cimalmotto, jusqu'au hameau de S'cèda en aval de Piano, sur une longueur globale de 2 kilomètres. On évalue la masse en mouvement à plus de 150 millions de mètres cubes. Le clivage de Cerentino, de dimensions plus réduites (longueur du front 300 mètres environ sur une hauteur de 40 mètres environ), n'en est pas moins préoccupant, puisque, si les origines

du phénomène peuvent être considérées comme identiques à celles du glissement de Campo, le pendage de la roche sur laquelle glisse la masse est beaucoup plus fort, de sorte qu'un éboulement imprévu pourrait avoir lieu, sans signes prémonitoires, et se révéler catastrophique.

6. MÉTHODES DE RECHERCHE

De nombreuses méthodes ont été appliquées à l'étude du glissement. Les méthodes les plus utiles et les plus rentables sont essentiellement au nombre de six: la cartographie, la géoélectrique et la sismique (deux branches de la géophysique), la géodésie, la photogéologie et les forages. Ces différents programmes garantissent des informations assez différenciées se complétant mutuellement.

Cartographie

Une cartographie détaillée a été effectuée en 1984 et 1985 par le géologue Luca Bonzanigo. La technique du relevé a été conduite en essayant de tenir compte des aspects morphologiques particuliers du phénomène.

Les déplacements se situent à des profondeurs qui ne se manifestent en surface que par des ruptures de pente et des signes d'extension ou de compression. La surface du haut plateau n'est pas affectée par le mouvement global, si ce n'est par une légère rotation vers l'arrière. Cette dernière est manifeste pour les maisons d'un certain âge et sur le clocher de l'église. À ce titre je rappellerais que l'église elle-même a subi un déplacement d'environ 25 mètres au cours d'un siècle, sans pour autant s'écrouler.

Les zones de dissociation comportent de profondes cavernes dans un terrain constitué de grandes masses de roche, elles sont donc les seules qui laissent des traces visibles en surface. Ces cavernes ont jadis été utilisées comme caves alimentaires et pour l'extraction de glace, laquelle résiste parfois à l'été.

Les traces des plans de cisaillement subverticaux (voire chapitre 4.1.3.) séparant les tranches les unes des autres, sont caractérisées par des déformations de toutes sortes, ondulations dues à la compression et au cisaillement, ruptures de pente dues à la distension. Elles sont souvent accompagnées par des sources à caractère semi-artésien et à des glissements de surface parfois intenses.

La disposition des différents types lithologiques sur la surface est assez curieuse et a aussi été relevée. Elle indique en effet que leur présence ne peut pas être exclusivement due à des éboulis, mais constitue une évidence à l'appui de la théorie du modèle "listrique".

Géoélectrique

Une campagne de sondages et traînés géoélectriques a été exécutée en 1985 par l'Université de Lausanne. Les principales informations qui en découlent sont:

- une grande hétérogénéité horizontale des résistivités apparentes.
- résistivités apparentes plus basses à proximité du pied du glissement
- limite ouest du glissement très contrastée du point de vue électrique, alors qu'en surface elle est à peine discernable.

Sismique

En 1986, une campagne de sondages sismiques de réfraction a été effectuée, limitée au secteur oriental du glissement pour des raisons économiques et pour concentrer les informations. Les résultats donnent une image très concrète de sa géométrie, malgré quelques divergences avec les informations découlant des forages effectués par la suite. Ces différences confirment à la rigueur l'hétérogénéité relevée par la géoélectrique.

Entre 1990 et 1991, en prévision de la construction de la galerie de drainage, une nouvelle campagne sismique a été conduite.

Géodésie

La première mesure géodésique date de 1892, et consiste dans la détermination des coordonnées des églises des villages de Campo et de Cimalmotto. En 1927, un réseau de points de mesure est établi. À différents intervalles, les mesures ont détecté des déplacements très variables, dépassant deux mètres par année dans la période 1937-1943.

La tendance à l'accélération observée au début des années '80 a conduit les autorités compétentes à décider l'installation d'un système de mesure en continu des déplacements et d'alarme, en contact avec la ligne téléphonique ou par liaison radio.

Figure 15: déplacements horizontaux en cm/année de 1926 à 1986, obtenus grâce à des mesures géodésiques

Photogéologie

Des prises de vues stéréoscopiques à petite échelle sont disponibles pour les années 1945, 1966, 1973, 1976, 1981,...

En 1985, une série de prises de vues à grande échelle (env. 1:5000) ont été effectuées en infrarouge fausses couleurs. L'analyse de ces images fournit des informations très détaillées sur la morphologie et l'hydrogéologie, à l'appui de celles récoltées par la cartographie de surface.

Forages

Deux sondages carottés ont été exécutés en 1962 et 1963. Ils ont mis en évidence la présence d'une surpression artésienne, et permis de déterminer la cote de la roche en place.

En 1987, trois forages destructifs de type Rotary ont été exécutés, dont la but principal a été l'installation de tubes inclinométriques. Ceux-ci doivent permettre de déterminer la répartition du déplacement sur toute l'épaisseur du glissement, et, par-là, de détecter les éventuelles surfaces de cisaillement. Ils ont permis en outre de réajuster les résultats obtenus par la géophysique (géoélectrique, sismique), et de reconnaître la stratigraphie.

7. RELATIONS ENTRE PRÉCIPITATIONS ET MOUVEMENTS DE TERRAIN

Introduction

En 1996, fut présenté une étude conduit par l'Institut Science de la Terre du Tessin qui mettait en relation le développement des mouvements de terrain et des flux détritiques dans le Canton du Tessin. L'auteur a voulu chercher la quantité maximale de précipitations au-dessus de laquelle le danger du démarrage du mouvement de masses sur les versants résultant est élevé. Grâce à ce seuil et en présence des informations fournies par l'institut météorologique indiquant la quantité de précipitations globalement prévues en un temps déterminé (par exemple les 24 heures suivantes) sur une certaine région du Canton (par exemple les vallées supérieures), il devrait être possible d'évaluer, en dernière analyse, le danger de la reprise des mouvements de masse sur les versants, et prédisposer un système d'alarme.

Résultat

En règle générale nous pouvons affirmer qu'il existe un rapport direct cause-effet entre le démarrage de mouvements de masse sur les versants et les événements de forte précipitation (quantité journalière d'au moins 100 mm), même si, bien évidemment, d'autres paramètres (par exemple géologiques et climatiques) jouent, dans ce contexte, un grand rôle. D'un point de vue climatique par exemple, un rôle assez important est joué par la température, en particulier quand elle est directement liée à l'enneigement, et peut donc être responsable de l'accumulation de neige au-dessus d'une certaine altitude, ou du dégel.

La figure 16 représente un graphique montrant la relation entre les 156 cas de mouvements de terrain documentés entre 1868 et 1995, et les précipitations moyennes mensuelles entre 1901 et 1990, récoltés en 9 stations pluviométriques significatives du Canton¹³.

Sur ce graphique on voit tout de suite qu'il existe une relation entre précipitation et mouvement de terrain, mais il est impossible de faire de grandes considérations parce que ce qui influence le démarrage des mouvements n'est pas vraiment la quantité de précipitations mais plutôt l'intensité et la durée.

Il faut donc faire une distinction entre précipitation extrême ponctuelle et précipitation extrême étendue (v.

Figure 16

¹³ Lugano, Crana-Torricella, Coldrerio, Cevio, Locarno-Monti, Camedo, Faido, Olivone et Biasca

tableau). La distinction entre Sopraceneri et Sottoceneri se justifie par le fait que la quantité moyenne annuelle de pluie est plus importante au nord du Ceneri.

Région	Préc. extrême ponctuelle [mm]			Préc. extrême étendue [mm]		
	24 heures	48 heures	72 heures	24 heures	48 heures	72 heures
Sopraceneri	≥200	≥300	≥400	≥300	≥400	≥500
Sottoceneri	≥150	≥200	≥250	≥200	≥250	≥300

Pour les 86 mouvements qui disposent aussi des données pluviométriques, un deuxième graphique (figure 17), représentant la fréquence (en tranche de dix années) du nombre global des événements de précipitation extrême en relation à la fréquence de mouvements de terrain, a pu être construit. Le troisième graphique (figure 18) représente les mêmes données exprimées en fonction du mois.

Figures 17 et 18

Sur la base de ces graphiques nous pouvons affirmer qu'il existe une certaine relation, soit au niveau de tranche de dix ans, soit au niveau annuel, entre les précipitations extrêmes et les mouvements de terrain.

Sur la base de cette constatation nous pouvons construire une relation entre la pluviosité moyenne annuelle et l'intensité horaire qui devrait nous fournir un seuil au-dessus duquel il y a le risque de démarrage de mouvements sur les versants.

La 19ème figure représente la corrélation entre l'intensité horaire normalisée (qui est égale à l'intensité horaire divisée par la quantité moyenne de pluie qui tombe annuellement) et la durée des précipitations dans les 86 cas de mouvements de masse choisis sur les versants du Tessin dans la période 1868-1995; une ligne de seuil proposée a été ajoutée.

Figure 19

La figure 20 représente la ligne de seuil au-dessus de laquelle il y a un risque de démarrage de mouvements de masse sur les versants. Sur le graphique on observe un déplacement vers le bas du seuil après 24 heures de pluie, cela est dû au fait qu'une forte quantité de pluie distribuée sur plusieurs jours a un effet moins important qu'une forte averse qui dure quelques heures seulement.

Figure 20

Conclusions

La connaissance des seuils critiques de précipitations, au-dessus desquels le danger de démarrage du mouvement des terrains instables résultant est particulièrement haut, peut avoir des importantes applications pratiques dans le champ des préventions des catastrophes naturelles dues aux fortes précipitations.

Ce chapitre nous a montré encore une fois, si c'était encore nécessaire, que les travaux entrepris dans le val Rovana sont opportuns, et le danger réel.

8. CONSÉQUENCES DU GLISSEMENT

On ne parle pas beaucoup des conséquences, mais la preuve de la gravité du phénomène est le nombre de projets élaborés dans le dernier siècle pour chercher une solution au problème (v. chapitre suivant).

Nous pouvons distinguer deux types de conséquences: les conséquences actuelles et les conséquences futures.

8.1. CONSÉQUENCES ACTUELLES

Nous pouvons observer des conséquences actuelles directement sur le terrain en observant la région de Campo Vallemaggia. L'altération du terrain, les fentes dans les maisons, le tassement des murs de soutien de la route d'accès au village sont évidents. Le front même est une conséquence visible du glissement.

Mais les inconvénients majeurs sont à caractère économique. Plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes de terrain sont en moyenne emportés annuellement par l'érosion du pied. Les intenses précipitations qui caractérisent la région constituent un danger potentiel de dégâts d'alluvions, qui concerne toute la vallée jusqu'à Locarno. De grands et coûteux travaux de terrassement sont nécessaires, après chaque précipitation d'une certaine ampleur, afin de libérer le passage de la rivière à la confluence Rovana-Maggia à Cevio.

8.2. CONSÉQUENCES FUTURES

Ces conséquences se réfèrent au cas où une partie du haut plateau s'effondrerait.

L'on pourrait croire que l'effondrement de la région n'aurait que des conséquences à caractère local, à savoir la disparition du (des) village(s).

Mais celle-ci n'est malheureusement qu'une partie des conséquences, en effet les gros problèmes se traduiraient au niveau régional. L'effondrement du glissement vers la rivière créerait une occlusion temporaire du cours d'eau et la formation d'un lac. La rupture de ce barrage causerait une grave crue dans le moyen et bas Valmaggia et dans la région de Locarno avec toutes les conséquences associées au cas.

Nous pouvons retrouver la preuve de ce danger dans l'histoire, sans remonter trop loin dans le temps: en effet en 1513 un éboulement de 500 millions de m³ descendu du Mont Crenone avait barré l'embouchure du val de Blenio (avant Biasca) en obstruant le cours du Brenno. L'éboulement est tristement connu à cause des conséquences catastrophiques qui se sont vérifiées deux ans après. La formation d'un barrage naturel a donné en effet origine à un lac d'énormes dimensions qui s'étendait jusqu'à Malvaglia (environ 4 kilomètres!). En 1515 le barrage a cédé de façon imprévue et inattendue et la masse d'eau s'est reversé sur le Val Riviera et le plateau de Magadino, en causant d'énormes dégâts jusqu'au Lac Majeur; l'inondation auraient provoqué, selon Richard¹⁴ la mort de 600 personnes. Cet événement est connu sous le nom de "Buzza di Biasca" (crue de Biasca).

Figure 21: l'éboulement du Mont Crenone

¹⁴ RICHARD, 1824, Guide de voyageur en Suisse, Paris; cité dans: COTTI [et al.], 1990, p. 371

9. L'ASSAINISSEMENT DU GLISSEMENT

À cause de la destruction de la partie orientale du hameaux "alla chiesa", en 1852, et de l'inclinaison de ses maisons, le glissement de Campo est devenu objet d'étude des ingénieurs et donc plusieurs projets ont été élaborés pour tenter de résoudre le problème.

Le premier rapport sur les causes et sur les possibles solutions fut l'expertise du professeur Heim en 1897. Cette expertise, encore valable aujourd'hui, ne fut pas tenue en considération à cause de la surprenante stabilité du haut plateau de Campo dans les années suivantes.

En 1925, à cause de la reprise du mouvement, le professeur Meyer-Peter, chargé par le Conseil d'État, préconisait l'exécution d'un système de digues pour rehausser le niveau de la Rovana, ou de dévier la rivière dans un tunnel dans le versant droit de la vallée.

Comme on l'a vu, en 1936, par un décret cantonal, un consortium fut constitué qui avait comme but l'exécution des travaux de récolte des eaux superficielles et de reboisement pour éliminer un des facteurs responsables du mouvement, c'est à dire l'infiltration d'eau dans le sous-sol.

En 1941 le Canton fit préparer un projet de rehaussement du lit de la Rovana, à réaliser grâce à des grandes clôtures afin de limiter l'effet érosif de la rivière. En 1941 un nouveau projet substituait celui de 1941 à cause des grandes difficultés techniques d'ancrage des clôtures. Ce nouveau projet proposait de dévier le cours d'eau dans son ancien lit sur le coté droit de la vallée (v. chapitre 4.1.2.) et le consolidation de la partie inférieure grâce à la construction de digues. En 1962 le groupe de travail, constitué par le Canton pour l'étude du glissement de Campo, proposait des solutions pour aménager le glissement, entre autre le creusement d'un tunnel de déviation pour les eaux de la Rovana. Cependant, en 1968, ces projets furent reportés à cause de difficultés financières.

Ce n'est seulement qu'après la crue du 7 août 1978 qui a fait des dégâts inimaginables dans tout le Tessin et a provoqué d'énormes dégâts aussi en val Rovana (v. chapitre 5.), que l'on commence à travailler sérieusement à la recherche d'une solution définitive au problème.

Ce chapitre présente en manière détaillée toutes les interventions qui ont été entreprises pour tenter d'arrêter ou de diminuer le mouvement de la masse du glissement de Campo Vallemaggia.

9.1. L'EXPERTISE DU PROFESSEUR HEIM (1897)

Comme on a vu dans le cinquième chapitre, l'expertise du professeur Heim est d'une importance fondamentale parce qu'elle représente le premier travail d'une certaine rigueur scientifique. Heim souligne en particulier le fait que la cause du glissement n'est pas seulement le flottage de bois dans la Rovana mais que l'origine du mouvement remonte à des époques préhistoriques. Heim proposait ensuite une solution à réaliser en deux phases:

La première phase prévoyait de canaliser les eaux superficielles jusqu'à la Rovana.

La deuxième phase, qui n'était pas jugée plus difficile que la première mais plus efficace, prévoyait le creusement d'une ou plusieurs galeries de drainage.

Ces solutions, comme Heim le dit, ne peuvent pas éliminer le problème du jour au lendemain, mais elles peuvent quand même diminuer le taux d'humidité du sol en rendant ainsi la région un peu plus stable. Il est étrange que le professeur Heim ne propose pas de solution pour résoudre le problème de l'érosion au pied du glissement exercée par la Rovana, surtout qu'il

avait lui-même compris le danger dû à la possible formation d'un barrage le long du cours d'eau (v. chapitre 8.2.). S'il n'a pas proposé d'interventions à ce problème particulier ce n'est donc pas parce qu'il ignorait le danger, mais probablement, parce qu'à l'époque la construction d'un tunnel de déviation de la Rovana n'était pas envisageable, peut-être à cause de problèmes de nature technique insurmontables à la fin du siècle passé.

Les propositions d'intervention ne furent pas réalisées, mais, comme on le verra par la suite, la construction de la galerie de drainage, qui s'est terminée en 1995 a montré la pertinence des solutions suggérées par le professeur.

9.2. PROJET DE DESSÈCHEMENT ET DE REBOISEMENT DU HAUT PLATEAU DE CAMPO (1931–36)

En 1931, grâce à l'initiative de l'inspecteur forestier fédéral Albisetti on commence à penser à la réalisation d'un projet qui permettrait de résoudre au moins les problèmes de dessèchement les plus urgentes. La réalisation de cette étude est confiée à l'ingénieur Enzo Censi de Lugano. En 1934 le premier projet fut présenté, il prévoyait de travaux hydrauliques et forestiers pour un montant de 186'000 Fr. Les travaux commencent la même année.

Le commettant des travaux était la commune de Campo, mais l'argent était avancé par le Canton, la commune n'était en tous cas pas en mesure de payer sa part; les travaux ont donc dû être interrompus en 1935 à cause de problèmes financiers. Pour résoudre cette difficulté le Canton proposa la création d'un consortium. Le Conseil d'État du Tessin décréta le 25 août 1935 la constitution d'un consortium (v. chapitre 5). La participation financière de chaque commune était calculée en rapport à la longueur de ses rives avec la Maggia. Les travaux ont pu alors être terminés en 1936 sous la direction du consortium qui s'occupe encore aujourd'hui de la manutention des œuvres réalisées.

Plus en détail, le projet prévoyait deux interventions:

1. canalisation des eaux de sources et des cours d'eau jusqu'à la Rovana pour empêcher l'infiltration;
2. reboisement qui avait comme but d'absorber l'eau qui autrement se serait infiltré dans le sous-sol, cela parce que les drainages ne pouvaient pas s'étendre jusqu'en haute montagne.

Les responsables du projet étaient conscients que cette solution ne pouvait en aucun cas être considérée comme définitive parce que le projet de dessèchement n'arrivait pas à arrêter le phénomène vu qu'il n'agissait que sur une des causes. L'intervention pouvait quand même diminuer le mouvement.

Malheureusement les fortes averses du 5, 6 août 1939 provoquent la destruction de quelques canaux, mais déjà en 1940 il fut élaboré un projet pour le rétablissement des œuvres endommagées, avec une dépense prévue de 55'000 Fr.. Ce projet n'a pourtant pas pu être réalisé à cause des crues d'août 1942.

En 1947 un nouveau projet hydraulique-forestier de captation des eaux de nombreuses sources fut proposé, des plantations closes pour réduire l'infiltration d'eau dans le sous-sol

Figure 22: chenal en bois pour l'évacuation des eaux superficielles

étaient aussi possibles, ainsi que le rétablissement des canaux. Le préventif estimait un coût de 430'000 Fr., revu à la baisse en 1957¹⁵ (300'000 Fr.). Jusqu'à 1966, les plantations de mélèze et arole, ainsi qu'environ 7'000 mètres de canaux collecteurs (dont 5130 étaient en bois de mélèze) furent réalisés.

En 1947-48, sur les pentes raides du Pizzo Bombögn, une barrière fut réalisée pour empêcher aux chèvres d'endommager les plantations réalisées. Au sommet de la montagne, là où les piliers en bois ne pouvaient pas être dressés à cause du terrain rocheux, une œuvre en pierre d'une rare beauté fut construite: il s'agit d'un mur à sec d'un volume de 420 m³. Treize ouvriers suffirent pour construire cette œuvre, entre avril et décembre 1948, sur une dénivellation de 150 mètres (plus précisément entre 2'184 mètres et le sommet à 2'331 mètres), pour une longueur d'environ 300 mètres et une hauteur de plus de 2 mètres. Ce mur, après plus de cinquante ans de service, a été récemment assaini (le 29 juillet) grâce à une journée de volontariat.

Figure 23: le mur du Bombögn

Figure 24: section transversale et profil longitudinal du mur, les mesures sont exprimées en centimètres

Les crues du 15, 16 et 30 septembre 1975, la crue du 9 octobre 1977, et «dulcis in fundo» l'épouvantable inondation du 8 août 1978 ont causé d'importants dégâts, mais, en 1978, un crédit de 95'000 Fr. pour l'assainissement des ouvres réalisés fut accepté¹⁶.

¹⁵ À cause notamment de la prise en charge par la "Section n° 2" du bureau technique cantonal des œuvres qui étaient en relation avec la route cantonale (environ 74'000 Fr.)

¹⁶ En 1977 un crédit de 70'000 ne fut pas pris en considération

9.3. SOLUTION DÉFINITIVE PREMIÈRE PHASE

Pour tenter d'arrêter le mouvement on décide, en 1981, vus les énormes dégâts que la crue d'août 1978 avait provoquée, d'intervenir sur deux fronts: la consolidation du front et le dessèchement du glissement.

9.3.1. LA CONSOLIDATION DU FRONT

Introduction

Le professeur Meyer-Peter fut le premier à proposer, en 1925¹⁷, le creusement d'un tunnel pour dévier les eaux de la Rovana pour empêcher l'érosion au pied du glissement. Pourtant ce n'est qu'en 1954 que le projet fut repris par les techniciens du Canton qui, en constatant l'accélération du mouvement, considèrent cette proposition comme la plus efficace et la moins risquée. Cependant ce projet n'a pas été retenu par les organes compétents. Il fut repris à nouveau en 1968 par le groupe de travail constitué par le Canton mais il dut être reporté à cause de difficultés financières.

À la fin des années septante, après les crues d'août 1978 et 1979, on s'aperçut de la gravité du problème, le Canton confia ainsi au "Studio ingegneria Maggia" de Locarno l'élaboration du projet.

En 1981 les crédits pour la réalisation de la première phase furent libérés (2,5 millions de francs), et en 1983 les travaux se terminaient.

La première phase envisageait la construction d'une route d'accès au fond de la vallée et d'une digue dans la région de la S'cèda.

Aspect technique

Le but du projet est d'éloigner les eaux du front du glissement. Les spécialistes ont élaboré deux variantes avec une première phase en commun.

1. Variante avec endiguement longitudinale et digues:

Ce projet prévoyait la construction d'un endiguement et de digues annexes au pied du front du glissement (1'400 m de longueur), le déplacement de la rivière dans son ancien lit sur le coté droite de la vallée, et la construction d'un endiguement secondaire (250 m) pour le torrent San Giovanni.

Le prix de ces œuvres était estimé à 11 millions de francs.

2. Variante avec tunnel de déviation

Cette variante prévoyait de creuser un tunnel situé dans le massif à la droite de la vallée. Le tunnel était prévu d'une longueur de 1'460 mètres avec une pente de 2%, une section de 42 m² et une capacité de 300 m³/sec.

Il était aussi envisagé, comme dans le projet présenté auparavant, de construire un endiguement pour le torrent San Giovanni.

Le coût de cette variante était estimé en 13 millions de francs.

¹⁷ Le conseil d'État l'avait chargé de proposer des solutions au problème

Les géologues du Canton ont décidé d'appliquer la deuxième variante (v. chapitre 9.4.2.)

9.3.2. LE DESSÈCHEMENT DU GLISSEMENT

Première solution: le creusement d'une galerie de drainage sous la masse du glissement.

Deuxième solution: la construction de puits permettant de donner essor à la surpression artésienne. Cette solution correspond à une réalisation technique moins difficile et financièrement moins onéreuse.

9.4. SOLUTION DÉFINITIVE DEUXIÈME PHASE

Les crédits pour la construction de la deuxième phase des travaux furent approuvés par le Grand Conseil tessinois seulement en mars 1991. Le crédit destiné aux travaux hydrauliques, forestiers et routiers étaient de 89 millions de francs, subventionnée à hauteur de 60% par les autorités fédérales. Plus en détail les travaux étaient:

- construction d'une galerie de drainage (avec les éventuelles perforations en direction du corps du glissement) sur le côté gauche de la vallée pour permettre la diminution de la pression à l'origine du mouvement;
- construction d'un tunnel de déviation de la Rovana sur le coté droit de la vallée, afin d'éliminer l'érosion au pied du glissement;
- rétablissement et amélioration complète du réseau de canaux existant pour la captation et la canalisation des eaux de source et superficielles du haut plateau, en manière de diminuer l'infiltration d'eau dans le sous-sol. Cet objectif a été atteint grâce à la réalisation de 4,5 km de canaux en bois, 1,2 en pierre et 1,3 en tôle;
- l'aménagement superficiel des zones instables qui intéressent la route cantonale Campo - Cimalmotto et les habitations;
- assainissement du front du glissement sous le village de Cimalmotto pour réduire l'érosion superficielle.

Figure 25: schémas des interventions prévues

9.4.1 LA GALERIE DE DRAINAGE

Il s'agit d'un tunnel de 1810 m de longueur avec une section de 10,5 m et une pente longitudinale de 2% qui permet une évacuation facile des eaux. La galerie est creusée dans la roche saine, au minimum 30 mètres au-dessous de la surface théorique de glissement et environ 250 mètres sous le village de Campo Vallemaggia.

En décembre 1990 et en mai 1991, avant de commencer avec le creusement de la galerie, un sondage sismique qui avait comme but de mieux connaître la géométrie du contact entre masse en mouvement et roche en place a été réalisé. La ligne de sondage fut positionnée, en tenant compte du projet de la galerie de drainage, de façon à relier quatre sondages (perforations) déjà existantes le long de son futur tracé. La ligne sismique, orientée WSW-ENE, était longue environ 1150 mètres, avec des stations de mesure placées tous les 5 mètres. L'énergie nécessaire au sondage était donnée par la tombée d'un piston de 50 kg qui glissait à l'intérieur d'un cylindre de 1,6 mètres. Où l'inaccessibilité empêchait l'utilisation de ce système, 100 g d'explosif ont été fait exploser dans des puits profonds 1,5 mètres. Le résultat est montré dans la figure suivante.

Figure 26: interprétation géologique. La projection de la galerie de drainage ne correspond pas exactement à son futur tracé, mais l'écart latéral ne dépasse pas les 100 mètres

Les travaux de percement de la galerie ont commencé en juin 1993. En travaillant de mars à décembre avec une progression moyenne de 5,7 mètres par jour, les travaux ont pu être terminés en juillet 1995. Les résultats, pour ce qui concerne le débit des eaux et l'abaissement des pressions, ne furent pas satisfaisants parce que la roche en place était plus imperméable que prévu, et les discontinuités closes ne favorisaient pas la circulation de l'eau.

Parallèlement au creusement de la galerie, les responsables ont procédé à l'exécution de quatre puits de sondage, deux subhorizontaux pour connaître les caractéristiques de la roche et son comportement hydrogéologie (quantité d'eau, pressions), et deux subverticaux pour vérifier la position du plan de glissement (roche altérée) et évaluer l'effet drainant des perforations. Après ces sondages la portée de la galerie de drainage était d'environ 30 l/sec. Les responsables du projet ont donc décidé de creuser 35 trous piézométriques, d'un diamètre de 65 millimètres et d'une longueur comprise entre 15 et 30 mètres, équipés de manomètres pour établir la valeur des pressions autour de la galerie le long de son tracé.

Tous ces éléments (galerie, perforations de sondage et trous piézométriques) ont permis d'établir le projet définitif pour ce qui concerne les perforations subverticales drainantes.

Entre décembre 1995 et avril 1996, 23 trous longs entre 30 et 70 mètres ont été réalisés, portant ainsi la longueur totale des trous à 940 mètres. Il est important de souligner que ces creusements, réalisés dans une deuxième phase, étaient déjà prévus par le projet original dans le cas où l'action drainante ne serait pas celle qu'on s'attendait. Ces perforations ont permis d'augmenter l'eau drainée à 50 litres par

Figure 27: section de la galerie de drainage

seconde (environ 1,5 millions de m³ par année), mais surtout de diminuer en manière très claire les pressions responsables du glissement (v. aussi la figure 29).

Figure 28: Variation de la distance mesurée par la station automatique située sur le haut plateau de Campo, entre le miroir V1, placé sur le côté droit de la vallée, et la station même

9.4.2. LE TUNNEL DE DÉVIATION

Le tunnel mesure une longueur de 1815 mètres, une section de 44m² et une pente longitudinale de 2%. Il est conçu pour le convoiement des eaux de la Rovana jusqu'à une portée maximale de 300 m³/sec.

Les travaux comprennent un certain nombre d'œuvres annexes:

- une digue en béton d'environ 4000 m³ avec deux volets qui peuvent être réglées mécaniquement en fonction des exigences de vidange et/ou des débits minimaux. Il faut en effet souligner que la rivière, en régime normal, continue à couler dans son lit naturel à travers un portail en manière de garantir les débits minimaux. La Rovana est déviée dans le tunnel seulement quand la portée de ses eaux franchit les 6 m³/sec;
- des œuvres de débouché, où les eaux sont restituées au lit de la rivière;
- d'une décharge du matériel de creusement du tunnel (environ 100'000 m³), qui constitue le pied du glissement de Cimalmotto, devant lequel a été construit un endiguement de protection.

Les travaux ont commencé en juin 1993 et ils ont connu des forts ralentissements à cause des crues de septembre 1993. Le creusement a été réalisé à partir de deux fronts, aidés par une fenêtre (longue de 210 mètres avec une pente de 1,5%) située au km 1,13. Les travaux de creusement qui s'effectuent entre mars et décembre sont terminés à fin 1995 avec un avancement moyen de 3,5 mètres par jours, la digue à l'entrée pratiquement un an plus tard.

9.4.4. TRAVAUX FORESTIERS; ASSAINISSEMENT DU FRONT DU GLISSEMENT À CIMALMOTTO ET RÉSEAU DE CANAUX

L'assainissement du front du glissement dans la région de Cimalmotto est très difficile mais très important, vu la proximité du village. Un tiers environ du talus a pu être aménagé grâce aux matériaux de creusement du tunnel de la Rovana. Pour les ²/₃ restants jusqu'au terreau de Cimalmotto de gros investissements ne sont pas prévus parce qu'ils se révéleraient très probablement inutiles vu la forte pente du front; nous croyons que seulement le temps pourra stabiliser le versant.

À cette période, l'aménagement des canaux sur le haut plateau de Campo a pu être terminé; il s'agit un réseau d'environ 7 km de longueur totale qui convoient en moyenne 150 l/sec (environ 5 millions de m³ par année) dans le torrent San Giovanni et donc dans la Rovana. Le nouveau réseau a été testé en novembre 1995.

10. RÉSULTATS

En résumant nous pouvons dire qu'à fin 1996, tous les travaux prévus ont pu être terminés en respectant les coûts du préventif initial, mais avec une saison de retard à cause notamment des crues de l'automne 1993.

Le problème des crues de la rivière Rovana est définitivement résolu grâce au tunnel de déviation qui a aussi permis l'aménagement du pied du glissement à Cimalmotto grâce aux matériaux de creusement. L'eau superficielle est canalisée et convoyée dans la rivière, empêchant ainsi l'infiltration et des dangereuses érosions.

Pour ce qui concerne la galerie de drainage nous avons pu observer que l'action sur la portée d'eau et sur les pressions a été très favorable. En effet cela a permis de diminuer en manière considérable ces dernières et par conséquent d'agir en manière positive sur les déplacements horizontaux.

Des études ont été réalisées pour savoir quel était le seuil en dessous duquel le glissement s'arrête; les résultats sont montrés dans le graphique suivant. La figure 29 met en relation la pression mesurée par la cellule piézométrique située dans le trou CVM6¹⁸ (située à environ 200 mètres de la galerie de drainage), et le mouvement du miroir n° 8 (v. carte p. 50). Outre à observer une claire corrélation entre les deux courbes, le graphique nous permet de positionner un seuil (4,8 bar) au dessous duquel le mouvement s'arrête presque complètement.

Figure 29: comparaison entre vitesse de déplacement et pression de la cellule pneumatique CVM6

Il existe un bon système de monitoring qui permet de contrôler de façon continue les mouvements du glissement: grâce à ce système nous pouvons confronter les déplacements année par année.

¹⁸ Le seul qui en hiver fournit des valeurs fiables

Dans la page suivante on trouve un tableau de mesures géodésiques, qui nous a été fourni par l'Institut Science de la Terre du Canton Tessin. Sur ce tableau le déplacement en millimètres de 31 points de mesure pour les 10 dernières années est représenté. Nous pouvons tout de suite remarquer que les années 1988-89 et 1993-94 présentent le déplacement le plus significatif, cela est dû aux crues d'automne 1987 et 1993.

Mais la chose la plus importante à remarquer est que, à partir de la fin de tous les travaux entrepris pour stabiliser le haut plateau de Campo, en 1996, la diminution des mouvements a été sensible. Cela peut avoir une seule signification: l'impact des travaux sur le glissement a eu un résultat positif. Les abondantes pluies qui ont provoqué plusieurs dégâts dans tout le Tessin, les 25 et 26 septembre 1999, n'ont en effet eu aucune répercussion sur les mouvements relevés pendant l'année 1999-2000. Seuls les points de mesure en haute montagne ont fait enregistrer un déplacement relativement important, les géologues du Canton ne savent pas encore comment l'expliquer. À notre modeste avis cela est peut être dû au drainage insuffisant (la galerie de drainage est éloignée).

Sur la carte, qui accompagne le tableau décrit auparavant, sont représentés les différents points de mesure. La longueur des flèches qui leurs sont associées représente le déplacement et l'orientation pour l'année 1998-99 (1 millimètre sur la carte correspond à un centimètre sur le terrain).

11. CONCLUSION

Après avoir analysé la condition d'(in)stabilité du val Rovana et présenté les interventions entreprises pour réduire les dangers existants, il est convenable de souligner que les œuvres réalisées ont uniquement l'objectif de porter le degré de danger dans le Val Rovana, dans la moyenne et basse Valmaggia, à un niveau analogue à celui existant dans le restant territoire alpin.

Actuellement, après un siècle de travaux, aucune intervention supplémentaire n'est prévue pour réduire la pente du front du glissement, pente qui dépasse les 40°. Pour parler de stabilisation du glissement, il faudra attendre une diminution de la pente d'environ 8°. Considérée que la situation actuelle ne représente pas un danger pour les habitants de Campo, les ingénieurs ont laissé à l'évolution naturelle du versant la tâche de baisser la valeur de la pente jusqu'à 32°, de façon à créer une condition de front plus stable.

Le capital investi dans les œuvres de protection a été important (les coûts dépassent les 100 millions de francs), mais déjà les premiers résultats récompensent les efforts produits.

La menace, au moins hypothétique, que le glissement de Campo représente pour tout le Valmaggia a donné une grande impulsion. Les travaux ont été réalisés de façon assez rapide, les investissements ont été généreux et les critiques, les oppositions limitées.

Les adversités qui se sont succédés à Campo montrent comment l'homme, à travers un comportement irrespectueux et incontrôlé a contribué au déclenchement de forces naturelles inconnues. L'exploitation du bois pendant le siècle passé a été la réalisation de cette attitude inconsidérée. Grâce aux modernes technologies, à une mentalité plus respectueuse et scientifique et à une nouvelle sensibilité écologique, les habitants de Campo, les ingénieurs et les autorités ont su réparer aux erreurs précédentes et résoudre une situation qui avait assumé des dimensions assez préoccupantes.

Les chiffres relatifs au mouvement actuel du haut plateau de Campo confirment la croyance et l'espoir qu'à travers une intervention anthropique raisonnée, compétente et respectueuse, l'homme, parfois, peut encore agir de façon positive sur une nature alpine puissante et sauvage.

À Campo Vallemaggia la nature est vraiment plus forte que l'homme?

12. PHOTOS

Photo 1: panneau récapitulatif des travaux exécutés

Photos 2 et 3: Campo et son glissement

Photos 4 et 5: panoramique du glissement de Campo Vallemaggia, au milieu le torrent S. Giovanni

Photo 6: torrent S. Giovanni

Photos 7 et 8: portion du glissement, en premier plan l'église de Campo, en arrière plan le Pizzo Bombögn

Photos 9 et 10: le front sous le village de Campo, en arrière plan le Pizzo Bombögn avec son mur

Photo 11: altération du terrain à Cimalmotto

Photo 12: l'endiguement de la Rovana

Photo 13: la décharge du matériel de creusement du tunnel
au dessous de Cimalmotto

Photo 14: la digue dans la région de la S'cèda

Photos 15 et 16: La sortie du tunnel de déviation des eaux
de la Rovana

Photos 17 et 18: la digue réalisée à l'entrée du tunnel de déviation de la Rovana

13. BIBLIOGRAPHIE

SOURCE DES ILLUSTRATIONS

Photo en couverture: COTTI [et al.], 1990, p. 137;
figure 1: RIVAROLI, 1997, p. 150;
figure 2: GENAZZI, 1980, p. 80;
figure 4: GENAZZI, 1980, p. 76;
figure 3: DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO, 1994, annexe;
figures 5 et 6: DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO, 1994, p. 4;
figures 7 et 8: KELLER [et al.], 1997, p. 65;
figure 9: DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO, 1994, annexe;
figures 10 et 11: KELLER [et al.], 1997, p. 79;
figure 13: GENAZZI, 1980, p. 91;
figure 14: MARTINI, p. 98;
figure 15: BONZANIGO, 1978, p. 3;
figures 16 à 20: AGUSTONI, 1996, pp. 8, 14, 15, 17 et 20;
figure 21: COTTI [at al.], 1990, p. 135;
figures 22 à 24: Bombögn, La croce, Il muro, La piantagione, pp. 23, 30 et 35;
figure 25: RIVAROLI, 1997, p. 151;
figure 26: BONZANIGO, 1992, p. 17;
figure 27: BERTOLA et DELLA TORRE, p. 6;
figure 28: BEATRIZOTTI et PISANI, 1996, p. 5;
figure 29: RIVAROLI, 1997, p. 153.

N.B. Les schémas, qui à l'origine n'étaient pas écrits en langue française, ont été traduits par les auteurs. Toutes les photos, sauf celle en couverture, ainsi que le dessin de la figure 12 ont été réalisés par les auteurs.

PUBLICATIONS

A.A.V.V., 2000, Bombögn, La croce, Il muro, La piantagione, Cevio, A.P.A.V.

AGUSTONI Stefano, 1996, Precipitazioni in grado di innescare frane e flussi di detrito nella regione del Cantone Ticino, Bellinzona, Dipartimento del Territorio

BIANCONI Giovanni, 1988, Valmaggia, Locarno, Armando Dadò

CESCHI Raffaello, 1986, Ottocento Ticinese, Locarno, Armando Dadò

COTTI Guido, FELBER Markus, FOSSATI Alessandro, GIANFELICE Lucchini, STEIGER Elio, ZANON Pier Luigi, 1990, Introduzione al paesaggio naturale del Cantone Ticino - 1. Le componenti naturali, Bellinzona, Dipartimento dell'Ambiente

FLAGEOLLET Jean-Claude, 1989, Les mouvements de terrain et leur prévention, Paris, Masson

GIANELLA R., 1932, Considerazioni sulla frana di Campo Vallemaggia

MARTINI Giuseppe (A cura di), Guida per chi visita la Valle senza fretta e vuol conoscerla, Ente turistico di Vallemaggia

SIGNORELLI Martino (Mons.), 1972, *Storia della Valmaggia*, Locarno, Armando Dadò

ARTICLES

A.A.V.V., 1987, "Fenomeni franosi in Ticino", L'agricoltore Ticinese, 17 settembre 1987, p. 7-9

A.A.V.V., 1987, "Fenomeni franosi in Ticino", L'agricoltore Ticinese, 24 settembre 1987, p. 7

A.V., 2000, "Croce e muraglia del Bombögn, lavori terminati", La Regione Ticino, Bellinzona, 29 août 2000

BONZANIGO Luca, Frei Walter, 1992, "PRN 20, Prospezione sismica con il metodo della riflessione sullo slittamento di Campo Vallemaggia", Bollettino dell'Associazione Svizzera dei Geologi e Ingegneri, vol. 59, no 134, juin 1992, pp. 9-17

CONCA Aldo, 1984, "La frana di Campo Valle Maggia", L'agricoltore Ticinese, 28 juin 1984, p. 7

DONATI Armando, 2000, "Inaugurazioni di restauri in Val Rovana (Valle Maggia)", Il nostro Paese, Società ticinese per l'arte e la natura (STAN), Locarno, pp. 17-22

GENAZZI Elio, 1980, "La frana di Campo Vallemaggia", Quaderni Regionali 2, Locarno, pp. 71-97

LOMBARDI Giovanni, 1996, "Der Drainangestollen von Campo, Rovana", Wasser, energie, luft – eau, énergie, air, 88. Jahrgang, Heft 11/12, Baden, pp. 281-287

PONCINI Arturo, 1975, "Il taglio dei boschi di Campo Vallemaggia e le sue conseguenze", Pro Valle Maggia 1975, Ente turistico di Valle Maggia, Cevio, pp. 79-106

PONCINI Arturo, 1976, "Il taglio dei boschi di Campo Vallemaggia e le sue conseguenze", Pro Valle Maggia 1976, Ente turistico di Valle Maggia, Cevio, pp. 111-131

RIVAROLI Patrik, 1997, "Valle Rovana, fermare 1mia. m3 di materiale in movimento", Strasse und verkehr, n° 4, avril 1997, pp. 149-153

TETTAMANTI Giuseppe, "Le sistemazioni idraulico forestali dell'Altipiano di Campo Valle Maggia e Cimalmotto", L'agricoltore Ticinese, 28 juin 1984

TRUCCO Giulio, "Verbauung und Umleitung der Rovana", Wasser, energie, luft – eau, énergie, air, Heft 7/8, Baden, pp. 173-182

ŒUVRES NON PUBLIÉES

BONZANIGO Luca, Rheological particularities and artesian heads in a large landslide: successful reclaiming by mean of underground drainage

BONZANIGO Luca, 1987, Étude des mécanismes d'un grand glissement en terrain cristallin: Campo Vallemaggia

BEATRIZOTTI Giorgio, PISANI Stefano, 1996, Movimenti lenti di versante e correlazione tra altezza di falda e velocità di spostamento per la frana di Campo Vallemaggia, Istituto geologico ed idrologico cantonale, Cadenazzo, 19 janvier 1996

BERTOLA Francesco, DELLA TORRE Franco, La estabilización del deslizamiento activo de Campo Vallemaggia en Suiza

DIPARTIMENTO DEL TERRITORIO, 1994, Valle Rovana, Sistemazione idrogeologica – concetto globale – scelte operative, Cadenazzo, Istituto geologico ed idrologico cantonale

KELLER Gabriele, DELL'ORO Oscar, KRASHITZ Sergio, 1997, La frana di Campo Valle Maggia, Travail de séminaire pour l'institut de géographie de l'Université de Fribourg sous la direction du prof. Leimgruber Walter

TOGNINI Flavio, 1996, Note sui lavori forestali a Campo Vallemaggia, Sezione forestale cantonale, Bellinzona 18.6.1996