

2.8. Les mouvements de masse: glissements de terrain et éboulements

Hugo Raetzo et Olivier Lateltin

Un excès d'eau prolongé dans le terrain peut y déclencher des mouvements de masse. Environ 7% de la surface de la Suisse comporte des pentes instables. En Suisse occidentale, où les précipitations sont devenues plus abondantes depuis les années 1970, ces mouvements se sont accentués dans plusieurs zones de glissement. Plus récemment, de grands volumes d'eau de fonte, s'ajoutant à des précipitations d'hiver en augmentation, ont également favorisé les glissements. L'instabilité des pentes pourrait augmenter de façon générale en raison du recul des glaciers, du dégel du permafrost et de l'accroissement des précipitations d'hiver.

Définition

Les mouvements de masse sont des déplacements de matériaux solides et/ou meubles le long d'une pente tels que chutes de pierres, éboulements, écroulements, glissements de terrain et ovaïles. Ils peuvent être rapides et subits ou lents et continus.

Quelque 7% de la surface de la Suisse est concernée par ces instabilités. Des zones de glissement de grande étendue sont nombreuses en particulier dans le flysch¹, où la proportion élevée d'argile et de limon favorise les instabilités. Dans ces zones, des sols à grain fin ralentissent l'infiltration de l'eau de pluie, ce qui maintient toute l'année un haut degré d'humidité. La teneur élevée en eau de la terre et des roches augmente les forces à l'origine de l'instabilité.

Des petits mouvements de masse dans des régions non habitées passent souvent inaperçus. Mais des petites ovaïles peuvent déjà avoir des effets dévastateurs à l'échelon local (cf. Gondo le 14/10/2000, Lutzenberg le 1/9/2002, Schlans le 16/11/2002). Sont considérés comme événements extrêmes dans le présent chapitre des glissements de grande ampleur (volume supérieur à 1 million de m³), caractérisés par des accélérations d'une rare intensité, ou la conjonction de plusieurs petits glissements (jusqu'à plusieurs 100'000 m³). En été 2002 par exemple, après des précipitations abondantes, environ un millier de glissements se sont produits dans toute la Suisse, dont quelques centaines en Suisse centrale et orientale.

Situations météorologiques critiques et disposition à l'instabilité

Nombre de mouvements de masse se produisent lors d'un excès d'eau prolongé dans le terrain. En montagne, cela n'est le cas que par des tem-

pératures supérieures au point de congélation, sans quoi les précipitations sont stockées sous forme de neige et de glace. L'eau est abondante au printemps quand une forte fonte des neiges coïncide avec de violentes précipitations, et en été et en automne lors de précipitations intenses et persistantes (cf. chapitres 2.5., 2.7.):

- Après les hivers à avalanches 1888/89, 1950/51 et 1998/99 (cf. chapitre 2.9.), la neige tombée en masse a rapidement fondu pendant une longue période de pluies abon-



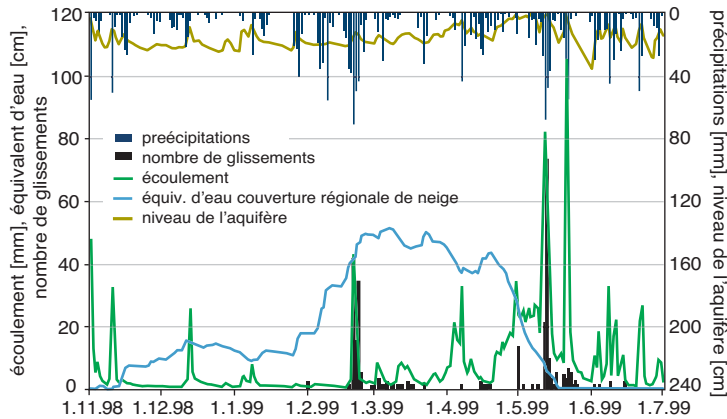


Figure 41: Evolution des précipitations et de la nappe phréatique en 1999, année d'intempéries.² Les précipitations (en bleu en haut), le niveau de l'aquifère (en olive en haut), l'écoulement (en vert en bas) et l'équivalent d'eau de la couverture de neige (en bleu clair en bas) de l'Alptal dans le canton de Schwyz (données FNP) sont comparés aux instabilités de pentes (en noir en bas, intervalles journaliers). Une première période de glissement a eu lieu du 20 au 23 février 1999, après les dernières chutes de neige. Une seconde période a suivi du 12 au 17 mai 1999 pendant de fortes précipitations coïncidant avec la fonte des neiges.

dantes. De nombreuses zones de glissement se sont réactivées (cf. figure 41). Une situation semblable, mais locale, mettant en jeu de grandes quantités d'eau de fonte, a réactivé le glissement de Falli Hölli dans le canton de Fribourg. Quarante maisons furent déplacées de 200 m en aval et détruites.

- En 1987, 1993 et 2000, plusieurs jours de précipitations intenses en été et en automne (cf. chapitres 2.5., 2.7.) dans de nombreuses vallées des Alpes ont déstabilisé les pentes et provoqué des inondations. Une situation extrême s'est produite les 13/14 octobre 2000 dans la région du Simplon, sous l'influence d'un régime du sud qui a entraîné beaucoup d'air humide vers les Alpes: en deux jours, il est tombé près de 500 mm de pluie, ce qui correspond, à un événement tricentennal à millénaire. Le 14 octobre 2000, le mur de soutènement au-dessus de Gondo a lâché. Le glissement de terrain, accompagné d'une ovaille, a fait treize victimes.

Instabilité des pentes dans le passé

La phase préhistorique:

Les grandes zones de glissement étaient très actives dans les Alpes à la fin de la dernière glaciation, lorsque les glaciers se sont retirés, et au début de

l'holocène il y a env. 11'600 ans (figure 42). Les forces exercées par les glaciers sur les flancs des vallées s'étaient relâchées, tandis que de vastes zones de permafrost qui stabilisaient des roches meubles avaient disparu. A part les glissements, il y eut de nombreux éboulements^{3,4}, des matériaux se sont accumulés dans les vallées des Alpes et en maints endroits des mouvements de masse ont barré le passage aux cours d'eau qui ont alors formé des lacs et des marais (Davos, Flims, bois de Finges, lac Noir etc.).

Au cours des dernières 9'000 années (holocène), les températures ont été assez constantes. Des instabilités de pente ont été causées probablement avant tout par les variations des précipitations.

Mais les courbes de température et de précipitation sont lacunaires et peu précises pour l'holocène et l'on ne peut établir que des liens incertains entre l'instabilité des pentes et le climat. Les glissements ont été par exemple sensiblement plus nombreux dans toute l'Europe pendant la phase froide et pluvieuse de Lössen, il y a environ 3'000 ans (figure 42).

Phase historique et 20^e siècle

Après le 15^e siècle, les données sur le climat peuvent être reconstituées assez exactement. Il existe par exemple une corrélation entre les années riches en précipitations et les années de forte activité de glissement pendant la «petite période glaciaire», qui s'étend de la fin du 13^e au milieu du 19^e siècle.

Depuis les années 1970, l'augmentation des précipitations en Suisse occidentale a activé les mouvements dans plusieurs zones de glissement. S'il y a eu davantage de glissements dans le passé récent, cela tient avant tout à l'effet conjoint de précipitations plus abondantes en hiver et de l'eau de fonte.

Du point de vue statistique, les événements de 1951 (hiver alpin), 1987 (précipitations en été dans les Alpes), 1993 (intempéries à Brigue), 1999 (fonte des neiges et précipitations au printemps) et 2000 (intempéries en automne au Valais et au Tessin) sont des événements extrêmes.

Effets des changements climatiques

La fréquence des mouvements de masse est influencée par des changements des températures, du cycle de l'eau, des glaciers et du permafrost. L'augmentation des températures en hiver et au printemps change la forme des précipitations, la hauteur de la couverture de neige et les températures du sol. A long terme, les changements climatiques influent sur la stabilité de grands volumes de matériaux dans les zones de glissement. Tandis que des petites zones de glissement et d'ovailles peuvent devenir instables à court terme sous l'action d'événements extrêmes tels que des précipitations intenses ou des orages.

Glaciers et permafrost

Le recul des glaciers et le dégel du permafrost dégagent de grandes masses d'éboulis, qui peuvent alors se mettre en mouvement sous l'action de l'eau. Le réchauffement global aura des effets considérables en montagne dans les zones glaciaires et périglaciaires.³ Toutefois, il est difficile de prévoir quantitativement les effets des changements climatiques sur le permafrost.

De façon générale, il est probable qu'une augmentation à long terme de la température sera suivie avec un certain retard par le dégel du permafrost. Des variations saisonnières, qui dépendent principalement de l'épaisseur de la couverture de neige, se superposent à cette tendance. Une couche de neige précoce ralentit le refroidissement du sol: la chaleur géothermique qui s'y accumule facilite la fonte l'été suivant. A l'inverse, une couche de neige persistante au printemps isole le sol froid: la phase de dégel étant plus courte, moins de chaleur pénètre dans le sol en été. Ces variations saisonnières ne semblent toutefois pas devoir changer grand chose à la fonte à long terme du permafrost.

Le système du permafrost a une grande inertie, vu que les capacités thermiques de la glace et du sol sont plus grandes que celle de l'air. Ainsi seuls des changements à long terme ont une influence, mais celle-ci conduira à son tour à une situation de longue durée. Le permafrost se réchauffera d'abord dans les couches proches de la surface, dans des zones dépourvues de neige et

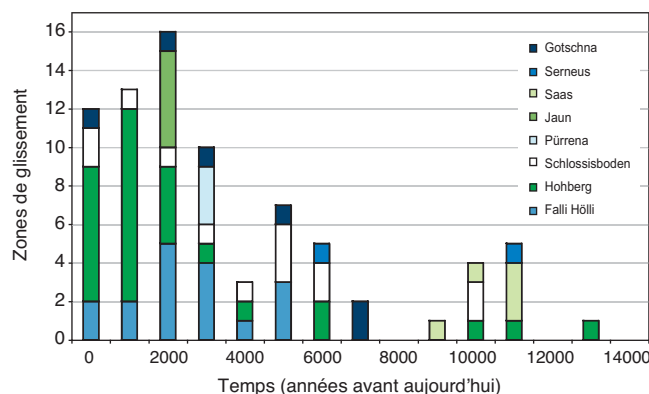


Figure 42: Fréquence des glissements en Suisse pendant l'holocène^{5,6}. Les pentes choisies représentent un volume de plusieurs millions de mètres cubes. Ces glissements profonds ont passé par plusieurs phases d'accélération depuis la dernière glaciation. La datation par le C-14 de troncs d'arbres fossiles conservés dans les matériaux de glissements du passé fournit des données qualitatives sur l'activité de glissement pendant l'holocène et, sous réserve, sur les conditions climatiques. La probabilité étant plus grande, lors de forages et de fouilles, de trouver du bois relativement jeune, situé à moindre profondeur que le vieux bois fossile, les datations au C-14 sont plus nombreuses pour les deux à trois derniers millénaires que pour des temps plus reculés. La datation la plus ancienne dans la zone de glissement du Hohberg est antérieure au Dryas récent (plus de 12 700 ans). Après le retrait des glaciers, plusieurs grands éboulements se sont produits dans les vallées des Alpes fribourgeoises et grisonnes (Hohberg, Schlossisboden, Saas et Semeus) au cours des 12^e et 11^e millénaires, pendant lesquels le climat s'est réchauffé. Les instabilités de pentes furent nombreuses de 7000 à 5000 ans avant aujourd'hui (AA) – une période à climat variable. Après une phase relativement tranquille, plusieurs zones de glissement se sont réactivées il y a environ 3400 ans: Falli Hölli, Hohberg, Schlossisboden, Pürrena et Gotscha. Du point de vue climatique, la fin du subboréal est un événement important en Europe. Les périodes froides «Löbben» (3500 à 3100 ans AA) et «Göschenen I» (2830 à 2270 ans AA) sont caractérisées par une progression des glaciers. La phase de haute activité de glissement dure jusqu'au 2^e siècle av. J.-C.; elle diminue ensuite un peu, mais varie en suivant les phases humides.

dans des formations où il n'atteint qu'une faible épaisseur. Dans de telles régions, les chutes de pierre, l'érosion, les glissements de terrain et les ovailles pourraient augmenter. Au Ritigraben par exemple, le glacier rocheux situé à 2500 m d'altitude fut la source de plusieurs ovailles ces dix dernières années. Pendant cette même période, plusieurs fois des matériaux rocheux se sont précipités de zones de permafrost vers les vallées (Tschierva, Piz Serscen, Mättenberg, mont Rose (face italienne), Gruben^{8,9}).

Précipitations

L'intensification du cycle de l'eau (cf. chapitre 2.5.) a un effet négatif sur la stabilité des pentes. Les précipitations augmentant en hiver, les glis-

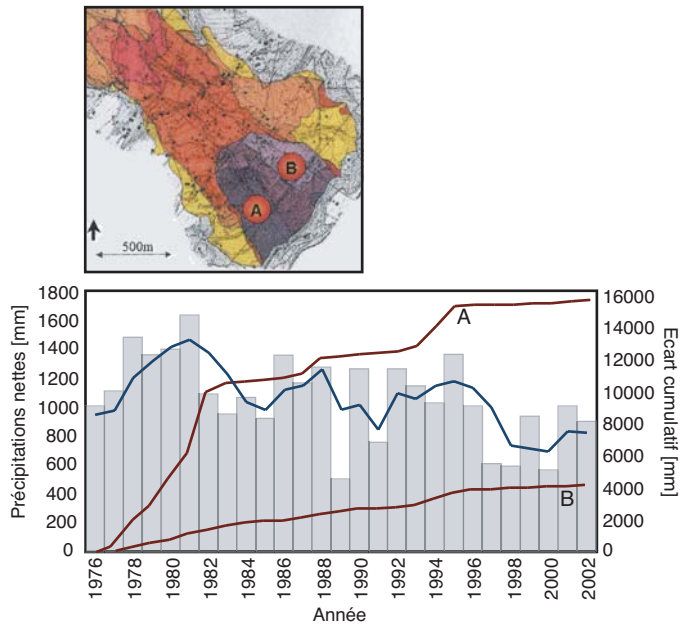


Figure 43: Zone de glissement de La Frasse près d'Aigle.⁷ Le graphique compare, de 1976 à 2002, les précipitations nettes (colonnes grises) et les écarts cumulatifs (lignes rouges) des zones A et B. La ligne bleue indique la moyenne sur trois ans des précipitations nettes. Quand cette moyenne dépasse 1150 mm, le front de la zone de glissement qui avance vers le lit de la Grande Eau s'accélère. La zone A réagit alors par une accélération prononcée (notamment de 1977 à 1982), tandis que B ne subit que des changements de vitesse minimales. Le front de la zone de glissement réagit donc de façon plus ou moins sensible aux précipitations et à la pression de l'aquifère, c'est-à-dire indirectement aux changements climatiques.

sements pourraient devenir plus nombreux. Et les températures étant plus hautes, il pleuvra davantage et neigera moins. La stabilité des pentes diminue du fait que l'eau est plus abondante en hiver.

Selon les scénarios climatiques, des courants du sud, tels que celui qui a conduit à la situation extrême des 13/14 octobre 2000 dans la région du Simplon, seront plus fréquents à l'avenir, quand davantage d'humidité est transportée de la Méditerranée en direction des Alpes. Lorsque de telles situations de barrage maintiennent pendant plusieurs jours la limite du zéro degré à très haute altitude, il faut s'attendre à davantage de glissements de terrain et d'ovailles.

- 1 Sédiments qui ont été transportés de zones seuils émergeant de la mer et se sont déposés lors de l'orogénèse en strates à rapides variations de faciès (grès marins, souvent riches en glauconite, marne, schistes argileux, calcaires).
- 2 Nach Bollinger D., C. Hegg, H.-R. Keusen und O. Lateltin, Ursachenanalyse der Hanginstabilitäten 1999, Bulletin für angew. Geologie Nr. 5/1, 5-38, 2000.
- 3 Kääb A., J. M. Reynolds and W. Haeberli, Glacier and permafrost hazards in high mountains. In: Huber U. M., M. A. Reasoner, and B. Bugmann [Eds], Global change and mountain regions: a state of knowledge overview. Advances in global change research. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 2003 (in press).
- 4 Haeberli W., A. Kääb, M. Hoelzle, H. Bösch, M. Funk, D. Vonder Mühl und F. Keller, Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. Schlussbericht NFP31, vdf, ETH Zurich, 1999.
- 5 Raetzo H., Massenbewegungen im Gurnigelflysch und Einfluss der Klimaänderung. Bericht des NFP31, vdf, ETH Zurich, 256 S., 1997.
- 6 Dapples F., Instabilités de terrain dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse) au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène: influence des changements climatiques, des fluctuations de la végétation et de l'activité humaine. Thèse 1395 UNIFR, Multiprint S.A. Fribourg, 2002.
- 7 Bonnard, communication personnelle.
- 8 Noetzli J., M. Hoelzle, and W. Haeberli, Mountain permafrost and recent Alpine rock-fall events: A GIS-based approach to determine critical factors. In: Phillips M., S. M. Springman, and L. U. Arenson [Eds.], 8th International Conference on Permafrost, Zurich/Switzerland; Proceedings 2, 827 - 832, 2003.
- 9 Haeberli, W., C. Huggel, A. Kääb, A. Polkvoj, I. Zotikov, and N. Osokin, Permafrost conditions in the starting zone of the Kolka-Karmadon rock/ice slide of 20 September 2002 in North Osetia (Russian Caucasus). In: Haeberli W. and D. Brandova [Eds.], 8th International Conference on Permafrost, Zurich/Switzerland, Extended abstracts reporting current research and new information, University of Zurich, 49 - 50, 2003.