

Introduction

Les mouvements de versant

Un sujet complexe aux multiples facettes

Parmi les *risques naturels*, les mouvements de versant représentent une famille très diversifiée dont l'impact économique et social à l'échelle du globe est d'une grande importance. Cet impact ne saurait être considéré comme mineur par rapport à celui d'autres phénomènes naturels tels que les séismes ou les inondations, phénomènes auxquels les mouvements de versant sont d'ailleurs souvent associés. De plus, dans bien des situations, les mouvements de versant représentent une *contrainte majeure* pour de nombreux ouvrages du génie civil ou pour des programmes d'aménagement régional dans toutes catégories de pays et plus particulièrement certains pays en voie de développement.

L'évolution géodynamique des versants

Les mouvements de versant témoignent de l'évolution géodynamique de « l'épiderme de la Terre ». Ainsi, le creusement quaternaire des vallées se poursuit sous nos yeux suivant une histoire multiphasée, dont rendent compte divers « témoins silencieux » que savent reconnaître géologues et géomorphologues. Souvent, ces vallées et versants représentent un héritage morphologique récent (les anciennes vallées glaciaires de nos paysages alpins par exemple) qui ne subit plus que quelques retouches sous les climats actuels. Cependant tous ces versants continuent d'évoluer lentement ou par crise et peuvent toujours menacer grandement nos établissements humains. Ces transformations légères ou dramatiques nous font prendre conscience du rôle du temps géologique sur les processus naturels.

Dans les situations de versant que nous étudions, ce temps est tout à fait à notre échelle. C'est le cas, évidemment, dans certaines situations de crise. C'est aussi le cas, d'une façon insidieuse qu'il nous faut savoir reconnaître, dans des contextes de versants de moyenne ou grande ampleur évoluant très lentement et qui nous semblent stables uniquement parce qu'ils ne sont pas l'objet de mesures précises.

Enfin, dans de nombreux contextes opérationnels, c'est l'action directe de l'homme qui peut contrarier l'évolution naturelle, quand sont engagés des travaux mettant en cause imprudemment des équilibres précaires.

Structures géologiques et matériaux constitutifs

Dans toutes nos études relatives aux mouvements de versant, la reconnaissance des *facteurs de prédisposition* à l'instabilité constitue une première étape, essentiellement géologique, les *structures géologiques* commandant directement une majorité de mouvements de versant. Dans cette démarche d'analyse, il ne faut pas craindre de mettre en œuvre tous les moyens classiques de la géologie de terrain et d'autres moyens techniquement plus importants (sondages, géophysique, télédétection...)

pour bien identifier ces facteurs de prédisposition. Ceux-ci s'imposeront lors de la conception des modèles numériques qui seront élaborés par la suite.

La caractérisation des *matériaux constitutifs* (sols et roches, massifs de sols et massifs rocheux) représente une deuxième étape essentielle où géologues, mécaniciens des sols et mécaniciens des roches doivent savoir coopérer. Prenant appui sur la caractérisation minéralogique et micro-structurale des matériaux, l'étude des *comportements rhéologiques* sous divers types de sollicitations mécaniques et hydriques s'impose au laboratoire et *in situ*. Elle peut être très difficile, de par la complexité et la variabilité des structures et des matériaux géologiques. Elle doit être cependant performante, avec les moyens expérimentaux qui sont les nôtres aujourd'hui, dans l'étude des comportements statiques ou dynamiques des sols saturés ou non saturés, des roches et des discontinuités de toutes natures. La durabilité et les comportements à long terme des matériaux doivent aussi être analysés : le long terme classique de la mécanique des sols et d'autres longs termes prenant en compte les processus physico-chimiques d'altération des matériaux naturels. Les conditions d'un vieillissement rhéologique doivent ainsi être précisées le mieux possible.

Les processus de déformation et de rupture des versants

À l'échelle d'un versant et non pas d'un échantillon, les *processus de déformation*, les *différents stades de rupture ou de réactivation d'anciennes surfaces de cisaillement*, les conditions du développement de la *rupture progressive* des matériaux et des massifs de sols et de roches doivent retenir notre attention. Par exemple, les mécaniciens sont familiers des processus de fluage affectant une masse de terrain importante qui peuvent évoluer en un processus de « localisation progressive des déformations » suivant une surface ou une zone de cisaillement bien définie et conduire au glissement de terrain *stricto sensu*.

Dans ces analyses globales d'un versant il faut aussi savoir reconnaître le caractère « dominant » du massif, milieu continu ou milieu discontinu, en vue de s'orienter vers les outils de modélisation numérique les plus adaptés (méthode des éléments finis ou des différences finies, méthode des éléments distincts...). Aujourd'hui ces modèles illustrent correctement certains des mécanismes évoqués.

Pour les grands mouvements de versant, les mécanismes de déformation et rupture qui s'y développent réellement ainsi que les conditions de propagation et d'arrêt des masses glissées constituent encore des sujets de recherche fondamentale.

De même les *comportements hydrologiques et hydrogéologiques* des versants naturels, parfois couplés aux comportements mécaniques, représentent un domaine où il nous faut beaucoup progresser, l'hydrogéochimie semblant devoir apporter une contribution

R. COJEAN

Co-rédacteur de la RFG
pour le numéro spécial
«Mouvements de versant»

Centre de géologie
de l'ingénieur
EMP/ENPC/UMLV
Université Marne-la-Vallée,
Bâtiment IFI
5, boulevard Descartes,
Champs-sur-Marne
77454 Marne-la-Vallée
Cedex 2
cojean@cgi.ensmp.fr

significative. L'enjeu est ici important, considérant les rôles multiples et primordiaux de l'eau dans une grande majorité de processus de rupture de versants.

Par ailleurs, l'auscultation des versants instables mis sous surveillance (GPS, radar, géodésie spatiale...) nous apporte des informations précises qu'il nous faut déchiffrer, parfois avec l'aide bien utile de la modélisation. C'est, très concrètement, un dialogue qui doit s'établir entre la modélisation et la surveillance des versants instables. Une mise en commun, à l'échelle internationale, des quelques expériences de surveillance disponibles sur le sujet des grands versants instables serait aujourd'hui hautement souhaitable sur le plan scientifique.

Scénarios d'événements

Les facteurs déclenchant les processus mécaniques et hydrauliques à l'origine des instabilités doivent évidemment être étudiés avec précision. En effet, ils se présentent en amont d'arbres d'événements aux conséquences parfois dramatiques. Par exemple, toute l'histoire hydrique d'un sol avant tel événement pluviométrique exceptionnel doit être étudiée pour comprendre la réaction du versant. Notre objectif est, bien sûr, l'identification de relations causales devant permettre des interventions judicieuses et précoces dans une perspective de gestion des risques.

Les références naturelles

Enfin, les références naturelles, analysées sous toutes leurs facettes, doivent rester une base vers laquelle se retourner pour alimenter nos réflexions théoriques. La grande variété des types de mouvements de versant répertoriés dans les nombreuses classifications géologiques, géomorphologiques ou géotechniques témoigne du fait que les processus mécaniques intervenant dans la déstabilisation d'un versant sont multiples et fortement dépendants des structures géologiques, des comportements rhéologiques des matériaux constitutifs, des types de sollicitations mécaniques, des conditions hydrauliques présentes, des échelles géométriques en cause. Fauchages gravitaires, déformations profondes de certains versants, glissements de terrain, avalanches de débris, glissements et écroulements de grande ampleur ne peuvent pas être analysés, à l'évidence, suivant les mêmes méthodes, les mêmes concepts mécaniques et hydrauliques, les mêmes modèles numériques. Dans toutes nos applications, dans une dialectique constante, il faut accepter de revenir à la réalité-terrain grâce à l'observation et la mesure pour « juger » de la distance du modèle au réel. Observons que, malgré les progrès considérables réalisés ces dernières décennies dans le domaine des sciences de la Terre, des sciences mécaniques appliquées aux sols et aux roches et dans celui de la modélisation numérique, nous restons cruellement dépendants de l'acquisition des paramètres mécaniques et hydrauliques ainsi que de la connaissance précise des structures géologiques. La reconnaissance *in situ* reste une nécessité que l'on pourrait oublier, craignant de ne pouvoir faire face aux exigences de cette démarche sur le plan technique et scientifique. Aujourd'hui notre communauté scientifique devrait affirmer avec force l'importance de ces investigations de terrain dans l'étude des versants instables comme pour traiter de nombreux autres sujets se rapportant à la géotechnique et la géologie de l'ingénieur.

Mais, quand bien même apporterions-nous toutes garanties sur nos observations, mesures, calculs et simulations, nous resterions encore bien dépendants de la variabilité naturelle des objets et structures géologiques, rarement quantifiable, si familière aux naturalistes, plus difficilement perceptible ou acceptable si l'on se refuse à sortir d'un cadre strictement déterministe.

En conclusion, c'est bien une démarche pluridisciplinaire qui s'impose pour traiter du sujet de ce numéro spécial, et qui devrait permettre aux différents courants traversant notre communauté scientifique de mieux se reconnaître et améliorer encore les voies d'une coopération nécessaire.

Remerciements aux auteurs qui ont construit ce numéro spécial « Mouvements de versant ».

Remerciements aux relecteurs qui ont réalisé les évaluations des manuscrits : M. Arnould, F. Baguelin, F. Blondeau, B. Cambou, B. Clément, Ph. Cote, Y.J. Cui, M. Deveughèle, P. Duffaut, J. du Mouza, J.-L. Durville, D. Fourmaintraux, R. Frank, J. Garnier, J.-L. Giafferi, R. Goubet, Y. Guerpillon, A. Guilloux, R. Lagabrielle, E. Leroi, J.-P. Magnan, O. Maquaire, Ph. Mestat, M. Meunier, A. Monjoie, M. Panet, A. Parriaux, A. Pecker, D. Pfefer, P. Pothérat, M. Rat, J. Riss, I. Shahrouh, J. Sulem, J.-P. Tisot, L. Vulliet, F. Wojtkowiak.

Une synthèse provisoire appelant de nouveaux développements

Ce numéro spécial de la RFG permet de donner une bonne illustration des préoccupations de recherche de différentes institutions académiques ou professionnelles dans le domaine des mouvements de versant. Les articles proposés rendent compte également de pratiques professionnelles classiques ou innovantes dans les méthodologies d'étude, le dimensionnement des procédés et ouvrages de confortement, dans l'analyse des interactions ouvrages/versant stable ou instable. En ouverture du numéro sont présentées plusieurs études de cas, illustrant (Tullen *et al.*) le rôle de certains facteurs déclenchants : pluies et fonte du manteau neigeux sur des formations de flyschs et de moraines glaciaires (un glissement du canton de Vaud, Suisse), présentant (Maquaire *et al.*) une méthodologie d'étude suivant une approche multidisciplinaire pour un glissement-coulée dans des marnes (région de Barcelonnette, Alpes-de-Haute-Provence) susceptible d'évoluer en coulée boueuse, ou montrant (Lebourg *et al.*) l'apport des méthodes géophysiques dans la caractérisation de masses glissées et la recherche des zones de cisaillement principales (glissements dans les Pyrénées-Atlantiques).

Puis les conditions de génération de laves torrentielles, conduisant à une cartographie d'aléa, sont analysées (Laugier *et al.*) dans un bassin versant alpin (région de Bourg-Saint-Maurice, Savoie), tandis que le dimensionnement de barrages de correction torrentielle prenant appui sur des berges et versants instables fait l'objet de développements mécaniques (Nicot *et al.*). La contribution de la reconnaissance pressiométrique au dimensionnement des murs de soutènement est présentée (Monnet *et al.*), puis l'interaction ouvrage-versant instable est illustrée (Gay *et al.*) par une modélisation physique et numérique de l'action d'un glissement peu profond sur les pieux d'un ouvrage d'art.

Le thème de la stabilité des volcans et terrils est discuté (Duffaut) et une approche multidisciplinaire s'intéressant à la stabilité de terrils (terrils de Wallonie, Belgique) soumis à de l'autocombustion est présentée (Monjoie *et al.*).

L'analyse du comportement des versants rocheux fait ensuite l'objet d'un article à caractère synthétique (Fleurisson) tandis que deux études de cas : l'une relative au mouvement de versant de Séchillienne (Isère) (Pothérat *et al.*), l'autre au glissement de La Clapière (Alpes-Maritimes) (Merrien-Soukatchoff *et al.*) sont présentées, confrontant observations géologiques et résultats de modélisation. Le caractère prévisible des éboulements rocheux est analysé (Vengeon *et al.*), prenant appui sur des données historiques et des études géomécaniques dans la région de Grenoble.

L'apport de traitements statistiques sous SIG (systèmes d'information géographique) à la cartographie de l'aléa glissement de terrain (Leroi *et al.*) dans la région du Trièves (Isère) est illustré. Enfin, la gestion des risques liés aux mouvements de versant fait l'objet d'une application concernant les retenues de barrages (Thomaidis *et al.*).

Deux notes techniques sont présentées, l'une relative à des techniques de stabilisation de glissements de terrain par drainage profond (Bomont), l'autre soulignant la nécessité d'établir des bases de données relatives aux mouvements de terrain (Faure *et al.*).

Nul doute que cette moisson de données résultant d'investigations géologiques, géophysiques et géotechniques, de réflexions sur les différents processus en œuvre dans la déstabilisation des versants, d'analyses comparées entre d'une part, observations et mesures et d'autre part, résultats de calculs et simulations, d'études ou de simulations des interactions ouvrages - versants instables, ne conduise à des débats fructueux, à caractère technique et scientifique, sur ce thème passionnant des mouvements de versant.