

# **EVALUATION DES RISQUES D'ÉBOULEMENTS ROCHEUX: BILAN ET PERSPECTIVES**

Coordonnateur du projet: D. Hantz, **LIRIGM**, Université Joseph Fourier

Participants

**LIRIGM** (Laboratoire Interdisciplinaire de Recherches Impliquant la Géologie et la Mécanique): C. Dussauge, A. Giraud, P. Desvarreux, J-M. Vengeon

**CETE Lyon / LCPC** (Centre d'Etudes Techniques de l'Équipement de Lyon, associé au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) : L. Effandiantz, L. Rochet

**ADRG**T (Association pour le Développement de la Recherche sur les Glissements de Terrain): P. Desvarreux

Durée du projet: 2 ans (1998-2000)

Signature de la convention (1<sup>o</sup> tranche): juillet 1998

## **1. INTRODUCTION**

L'évaluation des risques d'éboulements rocheux est très difficile du fait de la complexité des phénomènes naturels mis en jeu. Il importe que les responsables de la sécurité civile, ainsi que le public, soient conscients de cette difficulté et connaissent le type d'évaluation que les experts peuvent fournir, ainsi que la nature des études qui doivent être mises en œuvre. Il est également nécessaire que les bureaux d'étude prennent bien en compte la spécificité de ce type d'évaluation. L'objectif du projet était, d'abord, d'effectuer un bilan des connaissances dans ce domaine, puis de réaliser un guide méthodologique et, enfin, d'identifier de nouveaux axes de recherche permettant d'améliorer les méthodes d'évaluation utilisées actuellement.

Durant la première année du programme (1998-1999) un bilan des connaissances et des pratiques actuelles a été réalisé, à partir d'une enquête auprès de différents services opérationnels confrontés aux problèmes d'éboulements. L'analyse de ce bilan a permis de dégager une démarche qui paraît actuellement la mieux adaptée à l'évaluation et à la prévention du risque d'éboulement rocheux. Le cadre général de cette démarche sera présenté dans un guide méthodologique, qui est actuellement en cours de rédaction. Certains aspects, présentés oralement lors des journées bilans des 11 et 12 avril 2000, sont discutés ci-dessous.

Le bilan réalisé a également permis d'amorcer de nouvelles recherches concernant les méthodes de reconnaissance du terrain (méthode sismique) et d'évaluation de l'aléa (qualification de la probabilité d'éboulement).

## **2. LES ÉBOULEMENTS ROCHEUX**

Le terme d'éboulement rocheux désigne un mouvement d'une masse rocheuse, dans lequel les blocs ne se déplacent pas seulement en glissant, mais peuvent aussi tomber en chute libre, rebondir ou rouler. Il en résulte que les vitesses atteintes sont trop rapides pour permettre une évacuation de la population menacée (quelques mètres à quelques dizaines de

mètres par seconde). Les éboulements se produisent généralement dans des falaises ou des versants très raides. Ils font souvent suite à un mouvement plus lent, dont ils constituent le dernier stade d'évolution (glissement lent d'une masse rocheuse ou basculement progressif d'un pan de falaise, par exemple).

Le terme d'éboulement, au sens large, couvre un large éventail de phénomènes, depuis les chutes de pierres, très fréquentes sur certaines routes, jusqu'aux écroulements catastrophiques pouvant détruire un grand nombre d'habitations. A titre d'exemple, 423 chutes de pierres ou de blocs se sont produites en 4 ans sur un tronçon de 11 km de la route littorale n°1, dans l'île de la Réunion. Pour les plus gros volumes, on peut citer l'écroulement du Mont Granier (Savoie), en novembre 1248, qui a provoqué la mort de plusieurs milliers de personnes. Son volume a été évalué entre 300 et 500 hm<sup>3</sup>. Il s'est propagé jusqu'à 7,5 km de la zone de départ et a couvert une surface de 23 km<sup>2</sup>. Pour l'ensemble de l'arc alpin et pour les neuf derniers siècles, une trentaine d'éboulements de volume supérieur à 1 hm<sup>3</sup> sont mentionnés dans la littérature spécialisée. Parmi ceux-ci, 18 ont entraîné des pertes en vies humaines.

Les éléments en mouvement sont appelés **pierres**, lorsque leur volume est inférieur à quelques dm<sup>3</sup>, ou **blocs** pour les volumes plus importants (qui peuvent dépasser la centaine de m<sup>3</sup>).

La masse rocheuse totale en mouvement est appelée:

- **chute de pierres ou de blocs isolés**, lorsque les éléments sont dispersés;
- **éboulement en masse** pour des masses fragmentées en éboulis, dont le volume peut aller de quelques dizaines de m<sup>3</sup> à plusieurs centaines de milliers de m<sup>3</sup>;
- **éboulement en grande masse** pour des volumes plus importants, pour lesquels les distances de propagation peuvent être considérables (le terme d'écroulement est parfois utilisé). Les études nécessaires dans le cas, où de tels événements exceptionnels sont suspectés, sortent du cadre de ce projet.

### 3. L'EVALUATION DU RISQUE

#### 3.1. Aléa et risque

Du fait du caractère aléatoire des éboulements, le terme d'**aléa** leur est appliqué. Comme pour les autres phénomènes naturels dangereux, ce terme peut désigner le phénomène lui-même ou la probabilité plus ou moins grande qu'il se produise, indépendamment de l'occupation de la zone concernée. C'est donc une caractéristique propre d'un site, qui doit être prise en compte dans tout projet d'aménagement. Il existe un **risque** lorsque des personnes ou des biens sont exposés à un aléa. La notion de **vulnérabilité** est utilisée pour qualifier ou quantifier les dommages que pourrait provoquer cet aléa dans une zone donnée. Lorsqu'il peut être quantifié, le risque est défini comme le produit de l'aléa par la vulnérabilité. Il dépend donc de la probabilité de réalisation de l'aléa et de l'étendue des dommages qu'il peut causer. Ce projet ne concerne que l'évaluation de l'aléa.

#### 3.2. Diversité des études de pentes rocheuses

La question de la stabilité des pentes rocheuses se pose de différentes manières en fonction de l'objectif de l'étude. Schématiquement, on peut distinguer les études prospectives, dans lesquelles l'expert doit porter un diagnostic sur l'évolution future d'une pente existante, et les études de dimensionnement, où l'ingénieur doit établir un projet qui garantisse la sécurité avec un certain degré de certitude (ou un certain niveau de risque). Dans le premier cas, il s'agit d'évaluer la probabilité qu'un éboulement se produise dans un certain délai. Dans le second, cette probabilité est plutôt une donnée de l'étude, imposée implicitement par le

maître d'ouvrage en fonction des enjeux et des moyens disponibles. Dans l'exploitation d'une carrière, par exemple, un certain niveau de risque est souvent accepté pour les biens matériels, tant que la sécurité du personnel n'est pas mise en jeu. En génie civil, le niveau de risque accepté est beaucoup plus faible, voire nul, et n'est généralement pas explicité. Il détermine pourtant les choix, plus ou moins sécuritaires, effectués par le projeteur.

### **3.3. Evaluation de la stabilité**

Des méthodes, basées sur la mécanique des roches, ont été développées par les ingénieurs pour évaluer le degré de stabilité d'une pente. L'évaluation se traduit généralement par un coefficient de sécurité, qui peut être défini simplement par le rapport des forces maximales pouvant s'opposer au mouvement (forces résistantes maximales), aux forces qui tendent à le provoquer (forces motrices). Les forces motrices sont dues essentiellement à la gravité, aux pressions d'eau et aux séismes.

Le calcul du coefficient de sécurité fait intervenir des paramètres géologiques et mécaniques que l'on ne connaît jamais parfaitement. En effet, contrairement aux matériaux fabriqués par l'homme, dont la structure et les propriétés mécaniques sont relativement bien connues, le milieu rocheux est très complexe et les moyens de l'observer sont limités et coûteux. Cependant, cette approche mécanique est couramment utilisée pour étudier des projets d'aménagement. En effet, l'incertitude, parfois importante, qui pèse sur le coefficient de sécurité malgré les investigations détaillées, est prise en compte en prenant une marge de sécurité importante dans le dimensionnement du projet. On peut jouer, par exemple, sur les pentes des talus excavés ou sur le renforcement du terrain. Cette marge de sécurité est choisie par le projeteur en fonction du niveau de risque accepté.

### **3.4. Approche de l'instabilité**

Dans une étude prospective, l'incertitude, qui pèse sur la stabilité et sur son évolution future, ne peut pas être réduite en modifiant le projet comme dans une étude de dimensionnement ; en effet, le versant analysé doit être considéré dans son état naturel. Dans le cas d'un mouvement déclaré, la complexité du massif rocheux et des processus aboutissant à la rupture est telle, qu'il n'est généralement pas possible de prévoir, de manière quantitative, l'évolution du mouvement sur une période donnée, à une échelle de temps humaine. La prévision d'instabilité n'est certaine qu'à une échelle de temps géologique. A l'échelle temporelle concernée par les travaux d'aménagement (un siècle au maximum), la seule approche possible consiste à qualifier la probabilité qu'un éboulement se produise dans un certain délai. Par exemple, la probabilité pourra être qualifiée de faible, modérée ou forte, les délais considérés pouvant aller de quelques heures (étude d'un mouvement déclaré en phase critique) à plusieurs dizaines d'années (aménagement du territoire).

### **3.5. Evaluation de la zone d'épandage**

Différentes approches ont été développées pour déterminer la zone d'épandage maximale des éboulements rocheux. Pour déterminer la trajectoire et l'énergie de blocs isolés, plusieurs méthodes ont été validées par l'expérience et sont couramment utilisées par leurs concepteurs (par exemple: Azimi et al., 1982; Rochet, 1987). Elles permettent de simuler les trajectoires aériennes et les rebonds successifs des blocs. Pour la propagation des éboulements en masse, des méthodes de simulation sont actuellement développées par différents chercheurs et demandent à être validées.

La détermination de la propagation des éboulements comporte également une part d'incertitude (irrégularités topographiques à petite échelle, absorption d'énergie lors des rebonds, ...). Théoriquement, la probabilité qu'un point donné soit atteint par un volume potentiellement instable est le produit de la probabilité de départ de ce volume par la

probabilité que celui-ci se propage jusqu'à ce point (probabilité de propagation). L'aléa éboulement se décompose donc en deux aléas: un aléa départ (ou déclenchement) et un aléa propagation. Cependant, le caractère aléatoire du second phénomène est beaucoup mieux maîtrisé que celui du premier. Par exemple, il est possible de déterminer la trajectoire maximale possible (ou trajectoire enveloppe) pour un bloc donné, avec une faible probabilité d'erreur. La question la plus délicate est donc celle de la probabilité de départ.

#### **4. ETUDES CONCERNEES PAR CE PROJET**

Le guide méthodologique ne concerne pas les études de dimensionnement ayant pour but de créer de nouvelles pentes (excavation ou remblai) ou de modifier des pentes existantes (renforcement). Il existe pour celles-ci des méthodes éprouvées, qui sont décrites dans plusieurs ouvrages. Ce guide concerne les études ayant pour objectif d'évaluer le danger potentiel (aléa) représenté par les éboulements rocheux dans un versant existant. Celles-ci comportent généralement trois phases:

**a - identification des zones de départ potentielles et évaluation des volumes concernés;**

**b - qualification de la probabilité d'éboulement pour certains délais;**

**c - détermination de la zone d'épandage maximale et de l'énergie des blocs.**

Pour la phase a, les méthodes utilisées reposent sur les mêmes principes que pour les études de dimensionnement. Cependant, la morphologie des versants naturels étant plus complexe que celle des talus artificiels, d'autres mécanismes d'instabilité peuvent s'y produire. Pour la phase b, la qualification est le résultat d'une démarche d'expert, pour laquelle il n'existe pas de méthode générale. Pour la phase c, des méthodes éprouvées existent, mais leur utilisation reste délicate.

Différents types d'étude, à finalités différentes, nécessitent l'évaluation du danger potentiel d'éboulement. Elles portent sur des zones de tailles très différentes et sur des durées très variables.

##### **4.1. Etudes de type cartographique**

Il s'agit d'inspecter des surfaces étendues afin de repérer des zones de départ potentielles et de les classer en fonction de la probabilité d'éboulement (ou degré d'aléa). Ce classement permet d'établir une carte, sur laquelle apparaissent les zones menacées correspondant à différents degrés d'aléa. Ces degrés peuvent être indiqués par des couleurs ou des trames (rouge, orange, vert, blanc, par exemple). Les zones concernées peuvent être des communes (Plans de Prévention des Risques, pris en compte dans les Plans d'Occupation des Sols), des agglomérations (en liaison avec les Schémas Directeurs d'Aménagement et d'Urbanisme) ou des couloirs d'itinéraires routiers.

##### **4.2. Etudes spécifiques d'aménagement**

Lorsqu'un aménagement est prévu dans une zone potentiellement exposée (urbanisation, site touristique, ouvrage routier, barrage,...), il convient de réaliser une étude plus détaillée. Outre l'évaluation de l'aléa, ce type d'étude doit fournir une appréciation des travaux nécessaires pour une mise en sécurité des aménagements (protection active ou passive).

##### **4.3. Etudes spécifiques de sites actifs**

Lorsqu'un secteur sensible devient plus menaçant (chutes de pierres répétées, fractures qui s'ouvrent, ...) ou qu'un éboulement vient de se produire, un diagnostic rapide est

sécurité immédiates (évacuation de bâtiments, fermeture d'une route, ...). A plus long terme, les différentes évolutions possibles du versant doivent être envisagées (scénarios d'évolution) et les moyens à mettre en œuvre pour éliminer tout risque à venir doivent être définis. Dans le cas où un éboulement s'est produit, la possibilité de phénomènes similaires doit être étudiée. Une étude prospective plus générale peut être nécessaire.

Notons que lorsqu'un éboulement s'est produit, le risque apparaît plus crédible aux yeux de la population environnante.

## **5. IDENTIFICATION DES ZONES DE DEPART POTENTIELLES**

Un bloc rocheux peut se mettre en mouvement par glissement sur sa base, par basculement ou par décollement et chute libre (à partir d'un surplomb). Si la masse est constituée de plusieurs blocs, ces mécanismes élémentaires peuvent intervenir simultanément, et produire des mécanismes plus ou moins complexes.

Certaines configurations géométriques typiques peuvent donner lieu à des éboulements initiés par des mécanismes simples. Ces configurations géométriques permettent de détecter des volumes dit « potentiellement instables » ; en effet, leur degré de stabilité fait intervenir d'autres facteurs, qui sont pris en compte dans la qualification de la probabilité d'éboulement.

## **6. QUALIFICATION DE LA PROBABILITE D'ÉBOULEMENT**

La qualification de l'aléa éboulement a pour but d'évaluer qualitativement la probabilité qu'une masse rocheuse, d'un volume déterminé, se mette en mouvement rapide, dans un certain délai. Le résultat doit refléter la vraisemblance ou la crédibilité d'un éboulement. Plusieurs délais peuvent être considérés, allant du court terme au long terme, afin de préciser l'urgence d'éventuelles mesures de prévention ou de réduction du risque, dans le cas où des enjeux seraient menacés. L'évaluation peut alors être représentée sur une grille probabilité-délai.

Une approche probabiliste quantitative basée sur une analyse fréquentielle n'est possible que pour des phénomènes répétitifs, tels que les chutes de blocs, et à condition de disposer d'un nombre suffisant de données; ce qui est rare dans le domaine des éboulements. L'estimation de la probabilité d'occurrence d'un éboulement est donc généralement qualitative et résulte d'une démarche d'expert, basée sur la notion de prédisposition du site. Cette prédisposition peut être évaluée par différentes approches: étude des mouvements éventuels, actuels ou passés; analyse des éboulements passés dans le secteur concerné ou sur un site équivalent; analyse du degré de stabilité actuel et de son évolution, à partir de différents facteurs caractérisant le site (géologiques, climatiques, sismiques, ...). Il n'existe pas de règle générale concernant le choix des critères d'évaluation et de leur pondération. Celui-ci, qui dépend de l'expérience de l'expert, comporte donc une part de subjectivité.

Cette démarche d'expert pourrait être améliorée par l'analyse en retour d'événements passés. Cela nécessite la constitution d'une base de données spécifique, qui est l'objet d'un nouveau projet de recherche.