

## **PREVENTION DES RISQUES GENERES PAR LES INSTABILITES DE VERSANTS EN TERRITOIRE MONTAGNEUX**

### **CONTRAT DE PLAN ETAT - REGION RHA THEME "MOUVEMENTS DE TERRAIN"**

#### **PROJET CCE / EPOCH / RIVET**

**P. ANTOINE (1), J.P. ASTE (2), C. AZIMI (3), L. COUDERCY (4), P. DESVARREUX (3), A. GIRAUD (1), E. LEROI (2), J.P. ROTHEVAL (4), M. TERRIER (2).**

- (1) IRIGM : Institut de Recherche Interdisciplinaire en Géologie et en Mécanique  
(2) BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières  
(3) ADRGT : Association pour le Développement de la Recherche sur les Glissements de terrain  
(4) CETE : Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement

---

Ce programme de recherche sur la prévention des risques générés par les instabilités de versants en territoires montagneux a été initié en 1990 dans le cadre du X<sup>ème</sup> Contrat de plan Etat - Région RHA, avec la participation de quatre organismes présentant une large part de l'expérience française en la matière : l'ADRGT, le BRGM, le CETE et l'IRIGM.

Il a été relayé au niveau européen par le projet RIVET (Ricerca Integrata sulla degradazione dei Versanti in Territori montani), avec la participation d'organismes italiens dont l'ERSAL (Ente Regionale di Sviluppo Agricolo della Lombardia) coordinateur principal du projet.

Cette recherche s'est articulée autour des 4 points suivants :

- la typologie des mouvements de terrain
- la cartographie des zones potentiellement instables
- la surveillance des instabilités de pente
- les travaux de confortement des zones instables

## **1 - ACQUISITION A DEUX ECHELLES (REGIONALE ET LOCALE), DE DONNEES PERTINENTES ET STRUCTURATION AU SEIN D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE.**

Il s'agissait de montrer comment recueillir et structurer au sein d'un même système d'exploitation, le maximum d'informations pertinentes permettant d'améliorer la connaissance phénoménologique des mouvements de terrain.

Compte tenu de la diversité des sources d'information, les données recueillies se présentaient sous des formes multiples qu'il convenait d'homogénéiser :

- des données thématiques spatiales, relatives aux facteurs permanents (lithologie, tectonique, hydrographie, végétation, morphologie...),
- des données spatio-temporelles relatives aux événements passés (mouvements de terrains) ou aux facteurs aggravants (phénomènes météorologiques exceptionnels, séismes),
- des données accessibles grâce à l'imagerie aérienne ou satellitaire (Modèle Numérique de Terrain et ses dérivés - pente, concavité, exposition...).

Toutes ces informations ont été regroupées en trois "bases" représentant chacune un secteur géographique spécifique :

- deux bases "régionales" (Maurienne et Trièves) à l'échelle du 1/25 000 à 1/50 000 calées sur les images SPOT,
- une base "locale" (communes de Sinard et d'Avignonet - Trièves) à l'échelle du 1/10 000 calée sur les photographies aériennes à 1/30 000.

Ce travail de numérisation des données, leur structuration au sein d'une base, puis leur traitement a nécessité l'utilisation de divers logiciels, aucun produit n'étant à ce jour suffisamment polyvalent pour assurer l'ensemble des opérations :

- des Systèmes d'Information Géographique (SIG) : Synergis, Arc / Info sur PC, Ilwis
- des logiciels de Dessin Assisté par Ordinateur (DAO) : MapViewer, Intergraph / Microstation
- le système Digital Video Plotter (DVP) permettant sur l'écran d'un micro-ordinateur une représentation stéréoscopique (donc tridimensionnelle) d'un couple de photographies aériennes. Ce logiciel permet ainsi une numérisation des contours en X, Y et Z.

Plusieurs procédures de transfert de fichier d'un logiciel vers un autre (en particulier de SIG à SIG) ont dû être développées pour assurer la multiplicité et la complémentarité des traitements.

De nombreux problèmes ont été rencontrés lors de l'élaboration des trois bases, parmi lesquels on peut citer :

- la dispersion de l'information, son coût, les délais d'acquisition, la confidentialité des documents,
- la précision et qualité des documents,
- la représentation de l'information dans des référentiels géographiques différents,
- le volume d'information considérable pour chaque base (100 à 150 Mo de place mémoire), ce qui nécessite lors des phases de traitement sur ordinateur PC de nombreuses opérations de compactage / décompactage d'où une perte de temps importante, et ce qui génère des temps de calcul relativement longs,
- la nécessité de concevoir une chaîne de traitement pour effectuer l'ensemble des opérations, depuis la numérisation des données, la structuration, le traitement et la restitution des résultats, aucun logiciel n'étant suffisamment polyvalent.

## **2 - MISE AU POINT D'UNE METHODOLOGIE OPERATIONNELLE DE DESCRIPTION DES MOUVEMENTS DE TERRAIN, ET ELABORATION D'UNE TYPOLOGIE REGIONALE.**

Concernant les événements passés, il importe de réviser bon nombre de descriptions existantes, qui manquent parfois de pertinence lorsqu'elles n'ont pas été formulées par des spécialistes. Pour les événements potentiels, une description précise des symptômes observables avant la crise est essentielle pour formuler un bon diagnostic.

Il faut donc élaborer une typologie synthétique et consensuelle, pour fournir, dans les deux cas, des éléments d'aide à la décision, simples, mais suffisamment explicites et discriminants permettant de déboucher sur une méthode plus fine de corrélation entre les faits constatés et le type de phénomène.

Cette typologie ne peut être que régionale car adaptée à un contexte géologique, morphologique, structural et hydro-météorologique donné, mais son architecture doit permettre des transpositions à des contextes régionaux différents, ne nécessitant que des modifications formelles (de paramètres), et non conceptuelles (de logique).

## **3 - ANALYSE EN RETOUR DES METHODES DE CARTOGRAPHIE DE L'ALEA MOUVEMENT DE TERRAIN, ET DEVELOPPEMENTS DE NOUVELLES PROCEDURES :**

La cartographie des zones susceptibles d'être affectées par des mouvements de terrain repose sur la connaissance d'un certain nombre de facteurs de prédisposition (géologie, morphologie, occupation du sol, hydrographie, niveau de la nappe...). La conjonction dans l'espace et dans le temps de ces facteurs permanents et de facteurs aggravants (phénomènes météorologiques exceptionnels, séismes, activité anthropique) permet d'élaborer des cartes d'aléa.

Plusieurs approches peuvent être utilisées pour réaliser des cartes de susceptibilité aux mouvements de terrain :

- des méthodes d'expert : dans ce cas, les règles de combinaison des facteurs permanents de prédisposition sont issues de l'expérience, et elles sont appliquées directement sans analyse en retour des événements qui se sont produits sur le site d'étude. On considère uniquement que le site étudié présente des caractéristiques similaires à ceux qui ont permis l'élaboration des règles. Ces méthodes sont en général peu explicites et souvent basées sur des critères qualitatifs subjectifs. Les documents résultants sont par conséquent figés et non évolutifs.
- les méthodes d'apprentissage ou de reconnaissance de formes : les règles de susceptibilité des terrains aux instabilités de pente sont élaborées après analyse en retour des événements qui se sont produits sur le site d'étude. Elles reposent sur des analyses statistiques (ACP, AFC, corrélation, Mahalanobis, espérance, variance) ; les résultats doivent être consolidés puis validés par une analyse critique rigoureuse pour éliminer des biais ou des artefact mathématiques. L'intérêt majeur de ces méthodes réside dans le fait qu'il est possible d'élaborer une échelle quantitative unique de susceptibilité des terrains, indépendante des facteurs de prédisposition pris en compte. On peut ainsi comparer le rôle des différents facteurs ou combinaisons de facteurs comme agents déstabilisants, et hiérarchiser les sites pour lesquels des actions de prévention doivent être menées.
- les méthodes déterministes par calcul d'un coefficient de stabilité : elles sont basées sur une approche mécanique de la stabilité des pentes et requièrent la connaissance des caractéristiques géotechniques des matériaux. Elles présentent l'intérêt de pouvoir intégrer les facteurs aggravants, ce qui permet d'une part de comparer leurs impacts respectifs, et d'autre part d'élaborer des scénarios de ruine. Seules ces méthodes permettent de réaliser de véritables cartes d'aléa, c'est-à-dire d'avoir accès à la dimension temporelle des phénomènes.

Ces trois méthodes ont été testées sur les sites de la Maurienne et du Trièves, et des développements spécifiques ont été réalisés :

- sur l'approche par expertise pour automatiser les règles de combinaison,
- sur l'approche par analyse en retour pour élaborer des procédures de traitement,
- sur l'approche mécanique, notamment pour la prise en compte des déclencheurs.

Chacune présente des niveaux d'interprétation différents. Compte tenu des écarts d'investissement nécessaires pour leur mise en oeuvre, il convient d'adapter le choix de la méthode d'une part aux objectifs, et d'autre part aux ressources disponibles. Toutefois, elles doivent s'insérer dans une logique régionale de détermination de l'aléa ; une telle démarche permettra d'aborder la cartographie de l'aléa avec plus d'objectivité, elle permettra en outre d'optimiser des dépenses en matière de cartographie et de planification préventive.

#### **4 - BILAN TECHNOLOGIQUE ET STRATEGIQUE DE L'EXPERIENCE REGIONALE EN MATIERE DE SURVEILLANCE DES ZONES INSTABLES :**

Le programme a permis de tirer un bilan très représentatif de l'expérience et des attentes françaises vis-à-vis des problèmes de surveillance et d'alerte. Une quarantaine de cas vécus ont fait l'objet d'une analyse en retour dont les résultats sont mis à la disposition de la communauté scientifique internationale.

Par ailleurs, une méthodologie a été proposée pour organiser les actions de surveillance et d'alerte, méthodologie qui examine successivement les facteurs à suivre en phase de reconnaissance, en phase d'auscultation et en phase de prévision.

#### **5 - BILAN TECHNIQUE ET ECONOMIQUE DE L'EXPERIENCE RHONE-ALPINNE EN MATIERE DE TRAVAUX DE PROTECTION ET DE REHABILITATION DE SITES AFFECTES PAR DES MOUVEMENTS DE TERRAIN :**

Dans un premier temps, le travail a consisté à mettre sur pied une base de données, INVITES, qui permettait de mémoriser et de traiter des informations concernant les travaux de protection : typologie des travaux, date de mise en oeuvre, conception, dimensions, réalisation, entretien et coût. Ces travaux étaient reliés au fichier des événements INVI.

Une enquête micro-économique a alors été réalisée auprès des grands responsables de gestion de patrimoine en France, à savoir les directions départementales de l'équipement, les services de restauration des terrains en montagne, et la SNCF. Cette étude a porté sur les travaux réalisés dans 13 subdivisions de l'équipement, dans les départements des Alpes du Nord, de l'Isère et de la Haute-Savoie.

On a pu observer des stratégies contrastées de ces organismes face aux risques naturels : soit un traitement fonction de l'importance stratégique ou économique de l'équipement, cette stratégie étant plus ou moins formalisée, soit une gestion plus patrimoniale du domaine géré.

La répartition des travaux, tant en coût qu'en nombre d'intervention, s'est évidemment révélé très variable selon les sites. On peut cependant considérer que 10 à 17% des interventions concernaient les érosions torrentielles, 35 à 60 % les glissements de terrain, et 25 à 56 % les chutes de blocs et éboulements. En ce qui concerne les coûts, la plus grande partie des dépenses en travaux concerne des événements exceptionnels, ou des remises en cause de grands équipements (déviation de route, mise en tunnel...). Si l'on ne prend en compte que les travaux classiques (< 10 M.F.), on peut estimer qu'environ 1/5 ème des sommes en jeux sont consacrées aux érosions torrentielles, 2/5 ème aux glissements et 2/5 èmes aux chutes de blocs et éboulements.

Enfin, on s'est attaché à dresser un catalogue très détaillé des principales solutions ou parades à mettre en oeuvre pour lutter contre les phénomènes d'instabilité. Ce Catalogue prend en compte non seulement la description technique des parades, mais aussi leurs conditions générales

d'emploi, des éléments de coût, et un avis sur leur efficacité et leur pérennité, découlant de plus de 20 années d'expériences. Cette synthèse unique en son genre devra cependant être réactualisée régulièrement, afin de prendre en compte l'évolution des techniques et des connaissances dans le domaine.

## **BILAN ET PERSPECTIVES DE CE PROGRAMME D'ETUDE**

Le programme de recherche engagé dans le cadre du contrat de plan Etat-Région Rhône-Alpes, et relayé au niveau européen par le projet Rivet a permis de jeter les bases d'une approche intégrée de la prise en compte des risques générés par les mouvements de terrain en territoire montagneux. Le travail réalisé a été considérable, tant sur le plan de l'inventaire de l'existant (données, démarches, procédures...), que sur le plan de la synthèse méthodologique et du développement des outils.

L'ensemble des domaines couvrant l'aléa a été abordé, que ce soit la typologie, la détermination des zones potentiellement instables, la surveillance ou les travaux de confortement et de réhabilitation, mais beaucoup reste à faire. Nous présentons ci-dessous quelques points qui nous paraissent mériter des développements ultérieures ; cet argumentaire n'est ni exhaustif, ni hiérarchisé, et devra faire l'objet de propositions détaillées et concertées.

### **La typologie et les événements**

Pour faire face à la diversité et à la dispersion géographique des phénomènes et des dommages associés, seul un grand programme de collecte, de structuration et de mise à disposition de données valides peut laisser espérer un progrès significatif. Il s'agit de **concevoir et développer une base de données unique à l'échelle nationale**, base gérée par les principaux organismes détenteurs d'information, et structurée pour répondre à un large éventail de besoins. Ce projet ne peut être mené à bien sans une **volonté politique affichée de l'Etat**, celle-ci devant être relayée à l'échelle régionale.

Un tel projet est en cours d'élaboration et regroupe trois des principaux gestionnaires français de bases de données sur les mouvements de terrain (RTM, LCPC et BRGM). Il doit fédérer l'ensemble des compétences techniques au niveau national et s'appuyer sur des décideurs et des financeurs dans les régions. Compte tenu du contexte alpin, la région Rhône-Alpes doit être sans conteste un partenaire privilégié.

Par ailleurs, cet effort de collecte de l'information doit permettre à l'aval de **définir des typologies plus affinées** ; les techniciens comme les décideurs y gagneront en clarté et en efficacité.

## **L'acquisition et la mise à disposition de l'information**

Quelle que soit l'étude envisagée et ses finalités, la phase d'acquisition des données de base revêt une importance toute particulière : elle conditionne non seulement la qualité et la validité des résultats, mais également leur pérennité. Or, ce travail de collecte est long, fastidieux et par conséquent coûteux : plus de 50 % des ressources disponibles pour chaque étude est en général investi à cette fin.

Dans la mesure où de nombreux organismes requièrent les mêmes données de base, notamment en ce qui concerne la topographie, l'occupation du sol, la géologie, l'hydro-météorologie, il paraît opportun de regrouper les efforts, ce qui pourrait s'envisager avec la mise en place d'un **programme transversal d'acquisition de données thématiques**, et principalement de modèles numériques de terrain à haute définition.

## **La cartographie et les facteurs aggravants**

Des progrès significatifs ont été réalisés dans la cartographie des zones potentiellement instables, principalement grâce à l'apport des SIG. La mise en oeuvre de procédures rigoureuses doit permettre une homogénéisation et une standardisation des études sans pour autant en augmenter le coût de façon significative.

Cependant, comme nous l'avons vu, il y a beaucoup à faire pour réaliser de véritables études de risques ; trois axes méritent d'être développés :

- la prise en compte des facteurs aggravants de façon plus réaliste, notamment en ce qui concerne le facteur hydraulique ; la connaissance du rôle de l'eau comme facteur générateur de risque représente un besoin commun à de nombreux organismes engagés dans les programmes de recherche du contrat Etat - Région Rhône-Alpes. Une étude de faisabilité réalisée dans le cadre de ce contrat de plan a souligné l'intérêt d'un **programme transversal sur le rôle de l'eau dans les instabilités de pente**.
- le développement de méthodes et de procédures permettant d'appréhender la **vulnérabilité aux mouvements de terrain**. Un tel programme doit s'appuyer sur une banque de données événementielle exhaustive, mais doit également s'accompagner d'une approche conceptuelle de la vulnérabilité.
- le développement de **méthodologie devant servir de standard, pour la réalisation de véritables cartes de risques**. Ce travail doit être envisagé dans le cadre d'une approche multidisciplinaire en intégrant des compétences complémentaires (techniques, socio-économiques, politique...).

### **La surveillance et les sites expérimentaux**

La surveillance des mouvements de terrain est indispensable d'une part pour gérer des situations de crise, et d'autre part pour améliorer la connaissance phénoménologique des instabilités de pente. Il s'agit cependant d'une phase particulièrement délicate de la prévention compte tenu de la diversité et de la complexités des phénomènes étudiés. Il convient donc de pouvoir tester des procédures sur des **sites expérimentaux représentatifs et suffisamment instrumentés**. Ce besoin n'est pas spécifique à la thématique relative aux instabilités de pentes, et la mise en place d'une instrumentation dense sur des sites particulièrement intéressants devra permettre de faire avancer la connaissance phénoménologique dans de nombreux domaines (crues, érosion, transport solide...).

### **Analyse en retour des travaux de confortement et de réhabilitation**

Enfin, l'effort de collecte et d'analyse réalisés sur les travaux de confortement et de réhabilitation, mériterait d'être étendu à d'autres secteurs d'études, à d'autres organismes susceptibles de détenir des informations pertinentes, avec une approche plus macro-économique du problème, pour intégrer les conséquences non économiques au niveau de l'estimation du rapport investissement/efficacité. A cet égard, une collaboration avec les assurances devrait apporter un éclairage particulièrement intéressant sur cette approche. Une comparaison avec des expériences similaires engagées dans des pays étrangers permettrait de valider les conclusions, et permettrait aux techniciens comme aux décideurs de se positionner par rapport à des pratiques établies.