

# Le risque mouvements de terrain en Provence-Alpes-Côte d'Azur

Document coédité par le BRGM, la Région et la DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur.

## Comité de rédaction :

Christian MATHON (BRGM), Florence RIVET (BRGM), Nicolas DRAPERI (BRGM), David DESSANDIER (BRGM),  
Hervé CHAMPION (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur), Nancy SPINOUSA (Région Provence-Alpes-Côte d'Azur),  
Michel BACOU (DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur), Elisabeth DAUTREY (DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur),  
Philippe QUEMART (DREAL Provence-Alpes-Côte d'Azur), Philippe BOUVET (RTM).

Le comité de rédaction remercie l'ensemble des personnes ayant, dans chacun des organismes partenaires,  
participé à la réalisation de ce classeur.

**Coordination de la rédaction :** Florence RIVET

**Conception graphique, réalisation et coordination de l'édition :** BL Communication

ISBN : 978-2-7159-2496-3

Dépôt légal, novembre 2010.

Toute reproduction de ce document devra mentionner la source :  
Classeur "Le risque mouvements de terrain en Provence-Alpes-Côte d'Azur",  
coédition Région, DREAL PACA et BRGM, juin 2010.

## Ont contribué à la réalisation de ce Classeur :

Azémard Pierre (CETE Méditerranée), Batista Dominique (CETE Méditerranée), Bestagno Vincent (Conseil Général des Alpes-Maritimes),  
Berger Frédéric (CEMAGREF Grenoble), Charles Florent (RTM Alpes de Haute-Provence), Decot Thierry (CETE Méditerranée),  
Demirdjian Jean-Luc (RTM Alpes-Maritimes), Gaussin Anne-Sylvie (Conseil Général des Hautes-Alpes), Guiter Georges (RTM Alpes de Haute-  
Provence), Lambert Jérôme (BRGM), Le Roy Sylvestre (BRGM), Malascrabes Marie (CETE Méditerranée), Marçot Nathalie (BRGM),  
Mirgon Carola (BRGM), Plat Emmanuelle (BRGM), Segel Vincent (RTM Alpes-Maritimes), Vincent Marc (BRGM), Wattelet Jean-Marc (INERIS).



# Le risque mouvements de terrain en Provence-Alpes-Côte d'Azur

## Sommaire général



### Avant-propos

#### Introduction

### I. Les phénomènes mouvements de terrain

- PM.1 Les glissements de terrain
- PM.2 Les instabilités rocheuses : éboulements, chutes de pierres, de blocs
- PM.3 Les effondrements et les affaissements
- PM.4 Les coulées de boue
- PM.5 Le retrait-gonflement des sols argileux
- PM.6 Les inventaires mouvements de terrain et cavités souterraines

### II. L'évaluation du risque mouvements de terrain

- ER.1 Principes généraux de l'évaluation du risque mouvements de terrain
- ER.2 Principes généraux d'évaluation de l'aléa mouvements de terrain
- ER.3 Paramètres d'évaluation de l'aléa en fonction du type de phénomène
- ER.4 Les échelles d'évaluation et de cartographie de l'aléa
- ER.5 Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain
- ER.6 Cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur le littoral de la région PACA
- ER.7 Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux à l'échelle départementale
- ER.8 Cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle d'un bassin de risque
- ER.9 Cartographie de l'aléa à l'échelle communale/à l'échelle du tronçon routier
- ER.10 Cartographie de l'aléa à l'échelle d'un site
- ER.11 Echelle locale : méthodes de détection de cavités
- ER.12 Axes d'étude sur l'évaluation du risque : vers une meilleure quantification de la vulnérabilité

### III. La prévention du risque mouvements de terrain

- PR.1 Les composantes de la prévention
- PR.2 Les principales lois en matière de gestion des risques naturels
- PR.3 L'information préventive du public
- PR.4 Les acteurs de l'information préventive
- PR.5 Les règles de construction dans les sols argileux soumis au retrait-gonflement
- PR.6 Prise en compte du risque mouvements de terrain dans l'aménagement du territoire
- PR.7 Surveillance et auscultation de site : principe et dispositifs de mesure

- PR.8 Surveillance et auscultation de site : mesure de l'évolution des mouvements de terrain
- PR.9 Surveillance et auscultation de site : exemples en région
- PR.10 Signal d'alerte et organisation des secours
- PR.11 Projet RIVES : gestion des secours dans le cas d'un mouvement de terrain transfrontalier

### IV. Protections contre le risque mouvements de terrain et submersions

- PO.1 Les techniques de stabilisation des glissements de terrain
- PO.2 Les techniques de stabilisation des glissements de terrain (suite)
- PO.3 Mesures de protection contre les instabilités rocheuses – parades passives
- PO.4 Mesures de protection contre les instabilités rocheuses – parades actives
- PO.5 Mesures de protection contre les coulées
- PO.6 Mesures de protection contre les effondrements et les affaissements
- PR.7 Gestion des parades : exemple des ouvrages de protection des falaises dans les Hautes-Alpes
- PO.8 Axe de recherche : le rôle des forêts de montagne dans la protection des instabilités rocheuses

### V. Les événements mouvements de terrain marquants en Provence-Alpes-Côte d'Azur

- EM.1 Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Bouches-du-Rhône
- EM.2 Quelques événements mouvements de terrain marquants dans le Vaucluse
- EM.3 Quelques événements mouvements de terrain marquants dans le Var
- EM.4 Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Alpes-Maritimes
- EM.5 Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Alpes de Haute-Provence
- EM.6 Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Hautes-Alpes

### VI. Annexes

- X.1 Pour aller plus loin
- X.2 Glossaire



# Le risque mouvements de terrain en Provence – Alpes – Côte d'Azur



La région Provence-Alpes-Côte d'Azur est un territoire très contrasté tant d'un point de vue géographique avec ses montagnes et sa façade littorale que d'un point de vue géologique avec des formations variées (calcaires, marnes, gypse) et accidentées (accidents tectoniques). De par ces caractéristiques, la région est soumise aux phénomènes naturels de type mouvements de terrain (chutes de blocs, glissements de terrain, coulées de boue, retrait-gonflement des sols argileux, effondrements et affaissements).

Les mouvements de terrain les plus fréquents se produisant sur la région sont d'extension limitée, mais ils peuvent être récurrents et provoquer des dommages à répétition sur les infrastructures et habitations : chutes de blocs le long des itinéraires routiers alpins, coulées de boue urbaines, retrait-gonflement des sols argileux générant des désordres dans les bâtiments... Localement, la région est également le siège de mouvements de terrain de grande ampleur (glissement de La Clapière dans les Alpes-Maritimes, glissement de la Valette dans les Alpes de Haute-Provence, effondrement de Bargemon dans le Var).



Face à ces phénomènes, les gestionnaires sont amenés à s'interroger et à prendre des décisions pour gérer au mieux ce risque : "Quel est le risque ? Quels sont les moyens de prévention, de protection ?" sont autant de questions que se posent les élus face au risque mouvements de terrain.

Dans notre région, parce que le risque mouvements de terrain est réel, il est indispensable d'en tenir compte dans l'aménagement du territoire, et d'améliorer la connaissance sur ce risque, tout en entretenant la mémoire des événements passés. Dans cet objectif, le présent classeur met à la disposition des gestionnaires et du public un outil d'analyse des phénomènes mouvements de terrain afin de permettre à chacun de comprendre et appréhender au mieux ce risque qui nous concerne tous.



Cet ouvrage fait état des connaissances à un moment donné. Afin de tenir compte des nouvelles études réalisées ou d'événements qui se produiraient par la suite, il fera l'objet de mises à jour régulières.





# Le risque mouvements de terrain en Provence – Alpes – Côte d'Azur

Des phénomènes de mouvements de terrain se produisent régulièrement sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Le plus souvent de faible ampleur, certains mouvements peuvent parfois atteindre des dimensions considérables (ex : glissement de La Clapière dans les Alpes-Maritimes, 50 millions de mètres cubes de terrains mobilisés).

Cependant, ces événements de grande ampleur sont plutôt rares sur la région comparée à d'autres régions du globe où les conditions climatiques extrêmes associées à des contextes géologiques défavorables, peuvent induire de véritables catastrophes (Antilles, Réunion, Sicile, ou encore Honduras, Pérou...).

Aujourd'hui, la prévention et la protection constituent les moyens les plus efficaces pour atténuer les effets potentiels d'un mouvement de terrain. Elles s'appuient sur une bonne connaissance du phénomène et de son aléa.

La prise en compte du risque mouvements de terrain dans l'aménagement du territoire est devenue incontournable et passe en particulier par une amélioration constante de l'état des connaissances sur le phénomène : cartographies d'aléas, inventaires d'événements, mise en œuvre de protections vis-à-vis du phénomène, et la nécessaire diffusion de ces connaissances auprès des décideurs et gestionnaires mais aussi d'un plus large public. Demain, c'est grâce à cette acquisition progressive des connaissances qu'un nouveau pas dans l'évaluation et la gestion du risque pourra à nouveau être franchi.

Dans le cadre du Contrat de Plan État-Région Provence-Alpes-Côte d'Azur aujourd'hui nommé Contrat de Projet, réalisé entre les années 2000-2006 et poursuivi pour 2007-2013, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, la DREAL et le BRGM ont financé et réalisé plusieurs études scientifiques sur le risque mouvements de terrain, notamment pour améliorer l'état des connaissances sur l'aléa. D'autres études menées par divers organismes (services RTM, CETE...) ont également enrichi la connaissance sur le phénomène, et des travaux de protections contre les phénomènes sont régulièrement réalisés par les Conseils Généraux sur le réseau routier.

Au terme de ce CPER et considérant les actions menées dans la région par l'ensemble des acteurs, il convenait de réaliser un document d'information, avec une diffusion auprès d'un large public. Ce document représente le 3<sup>ème</sup> ouvrage d'une collection de classeurs déjà réalisés.

Ce document est constitué de six grands chapitres rassemblant plusieurs fiches numérotées (une liste des abréviations est présente en annexe) :

## I. Mouvements de terrain (PM)

Définition des différents phénomènes, inventaires des mouvements de terrain et cavités souterraines.

## II. L'évaluation du risque mouvements de terrain (ER)

Principe d'évaluation de l'aléa, différentes échelles de cartographie existant en région.

## III. La prévention du risque mouvements de terrain (PR)

Présentation des différentes actions de réduction du risque.

## IV. Protection contre le risque mouvements de terrain (PO)

Pour chaque type de mouvement de terrain : description des méthodes de protection et illustrations régionales.

## V. Événements marquants en région Provence-Alpes-Côte d'Azur (EM)

Présentation de quelques événements sur chacun des départements de la région.

## VI – Annexes (X)

Une liste de contacts régionaux et une bibliographie permettent au lecteur de disposer de références supplémentaires sur le risque mouvements de terrain. Un glossaire figure également pour rappeler les définitions des termes techniques employés dans les fiches.





# I

## Les phénomènes mouvements de terrain



PM.1



Les glissements de terrain

PM.2



Les instabilités rocheuses :  
éboulements, chutes de pierres, de blocs

PM.3



Les effondrements et les affaissements

PM.4



Les coulées de boue

PM.5



Le retrait-gonflement des sols argileux

PM.6



Inventaires mouvements de terrain  
et cavités souterraines



Résumé au verso ▶

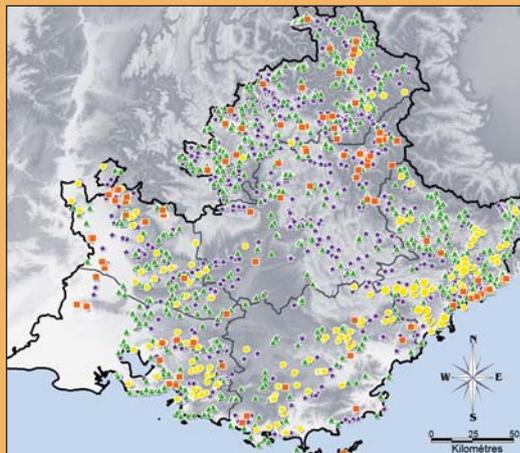
# I Les phénomènes de mouvements de terrain



Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeu sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour).

Parmi ces différents phénomènes observés, on distingue en région Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- les glissements de terrain ; ★
- les chutes de pierre et éboulements ; ▲
- les affaissements et les effondrements de cavités ; ●
- les coulées de boue ; ■
- le retrait-gonflement des sols argileux.



Une fois déclarés, les mouvements de terrain

peuvent être regroupés en deux grandes catégories, selon le mode d'apparition des phénomènes observés. Il existe, d'une part, des processus lents et continus (glissements, affaissements, retrait-gonflement) et, d'autre part, des événements plus rapides et discontinus (chutes de pierre et éboulements, effondrements, coulées de boue).

À l'exception du retrait-gonflement des sols argileux, les mouvements de terrain sont dits "gravitaires" c'est-à-dire qu'ils ont pour moteur principal la force de gravité, la pesanteur.

Pour qu'un mouvement de terrain apparaisse en un lieu donné, il faut que soit réuni en ce lieu un certain nombre de facteurs d'instabilité qui peuvent être :

- des facteurs permanents ou très lentement variables, caractérisant la prédisposition, la susceptibilité du site aux instabilités (relief, nature géologique, hydrogéologie, etc.);
- des facteurs variables dans le temps (séismes, activités humaines, intempéries, etc.) qui peuvent jouer le rôle de déclencheur des mouvements.

Sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, une campagne d'inventaire des événements "mouvements de terrain" sur le territoire a permis d'enrichir une base de données construite avec le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées et les Services de Restauration des Terrains en Montagnes ([www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr)). On trouvera également sur le site [www.cavites.fr](http://www.cavites.fr), le recensement des cavités souterraines et sur <http://carol.brgm.fr>, celui des carrières souterraines et mines abandonnées.





# Les glissements de terrain

## Qu'est-ce qu'un glissement de terrain ?

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent (de quelques millimètres par an à quelques mètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables : quelques mètres cubes dans le cas du simple glissement de talus ponctuel à quelques millions de mètres cubes dans le cas d'un mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant.

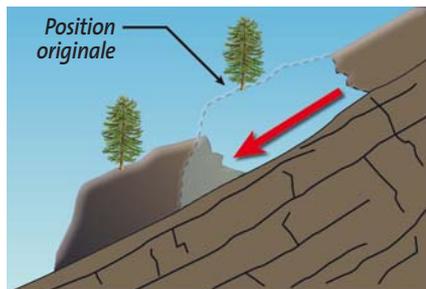


Source : ONF - RTM 05

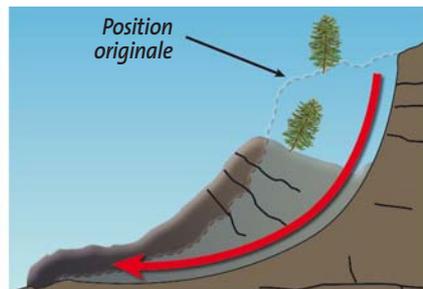
## Quels sont les types de glissement de terrain ?

Trois types de glissement sont distingués en fonction de la géométrie de la surface de rupture :

- glissement plan ou translationnel, le long d'une surface plane ;
- glissement circulaire ou rotationnel, le long d'une surface convexe ;
- glissement quelconque ou composite lorsque la surface de rupture est un mélange des deux types.



Position originale  
Glissement plan



Position originale  
Glissement rotationnel

▲ Glissement à La Grave (Hautes-Alpes, 05) - 1995

## Quelles sont les indices, les manifestations et les phénomènes induits par les glissements ?

Indices caractéristiques d'activité d'un glissement : niche d'arrachement, fissures, bourrelets, arbres basculés, zone de rétention d'eau, fissuration des bâtiments, déformation des routes, etc.



Source : BRGM

◀ Niches d'arrachement, fissures et arbre incliné (glissement du Villard-des-Dourbes (Alpes de Haute-Provence, 04) - 2003)



Source : ONF - RTM 04

▲ Dégâts sur infrastructures



Source : BRGM

◀ Zone de rétention d'eau au Villard-des-Dourbes (2003)

## Phénomènes aggravants pouvant résulter de glissements de terrain :

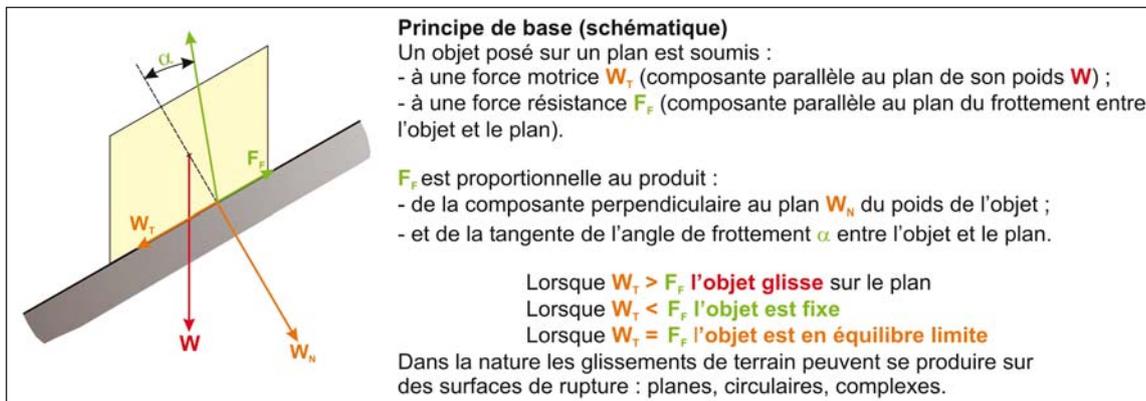
- formation d'embâcles [glossaire] sur les cours d'eau ;
- laves torrentielles [glossaire] suite à l'apport de matériaux dans les cours d'eau ;
- coulées de boue [PM 4] à partir des bourrelets de pieds formés de matériaux remaniés.

Selon le contexte ces phénomènes peuvent être plus dommageables que le glissement de terrain dont ils résultent.



## Comment se forme un glissement de terrain ?

Lorsque les forces s'exerçant sur une pente (forces motrices [glossaire]) dépassent la résistance des matériaux constitutifs de cette pente (forces résistantes [glossaire]), celle-ci subit une rupture et un glissement de terrain se produit. La rupture de l'équilibre a pour origine soit l'augmentation des forces déstabilisantes, liées à la gravité, soit la diminution des forces résistantes (ou stabilisantes).



## Quels sont les facteurs d'instabilité ?

### Facteurs permanents (= de prédisposition, de susceptibilité)

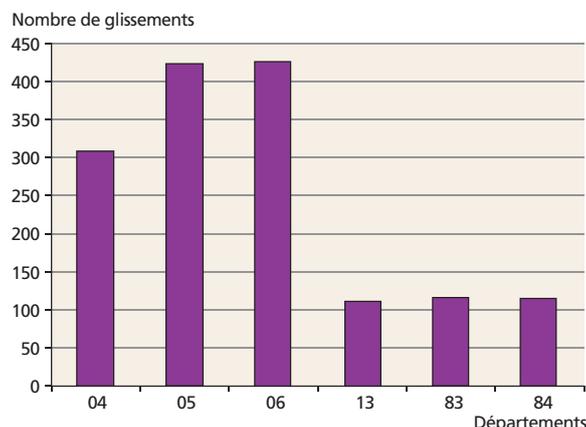
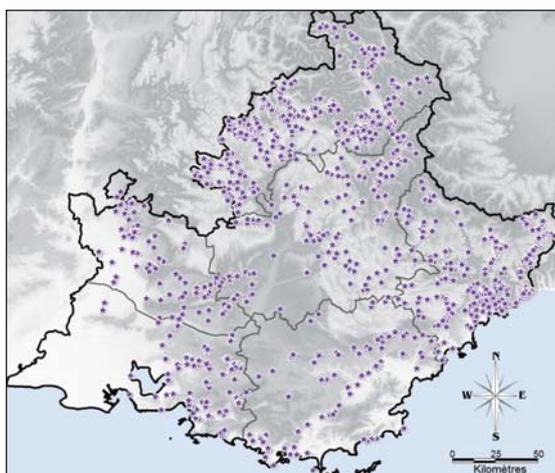
- La **pesanteur** est le moteur du glissement ;
- La **pente** régit directement l'équilibre des efforts mécaniques ;
- L'**eau** diminue la résistance au frottement, modifie les caractéristiques de certains matériaux et augmente le poids des terrains ;
- La **nature des terrains** (lithologie) conditionne directement leur sensibilité au glissement (marnes, argiles, substratum schisteux, alternance matériaux tendres et rocheux) ;
- La **structure des terrains**, c'est-à-dire l'empilement des couches géologiques (stratigraphie) et les discontinuités (fracturation, failles, joints de stratification), est déterminante pour l'apparition d'une surface de rupture.

### Facteurs variables dans le temps (= déclenchant, aggravant)

- Les **précipitations** et la **fonte des neiges** agissent sur le facteur permanent qu'est l'eau dans le sol en augmentant les pressions interstitielles et la mise en charge des terrains ;
- Les **cours d'eau** qui lorsqu'ils entrent en crue et affouillent un pied de glissement, entraînent son activation ;
- Les **séismes** provoquent des vibrations qui peuvent être responsables du déclenchement de glissements ;
- De nombreux glissements ont pour origine les **actions humaines** (terrassements, rejets, fuites ou pompages d'eau, les surcharges, etc.).

## La répartition géographique des événements glissement de terrain en Provence-Alpes-Côte d'Azur \*

À l'échelle régionale, les principales formations concernées sont toutes les formations meubles du Quaternaire, peu consolidées sujettes aux glissements superficiels, et les formations à dominante marneuse du Secondaire. Les Terres noires (Jurassique) et les moraines (formation glaciaire) notamment peuvent donner naissance à des glissement-coulées de grande ampleur. C'est le cas dans les départements alpins, où le relief est favorable à l'apparition de ce phénomène.



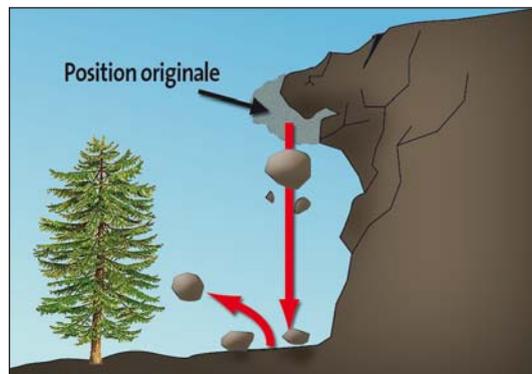
\*Données issues des inventaires réalisés dans le cadre de la cartographie régionale aléa mouvement de terrain (en cours) [ERS] (source : BD Mvt, RTM, Conseils Généraux).



# Les instabilités rocheuses : éboulement, chutes de pierres, de blocs

## Qu'est ce qu'une chute de blocs ou éboulement ?

Ce sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides et fracturés tels que calcaires, grès, roches cristallines, etc. Ces chutes sont caractérisées par une zone de départ, une zone de propagation [glossaire] et une zone d'épandage [glossaire]. Les blocs décrochés suivent généralement la ligne de plus grande pente. Les distances parcourues sont fonction de la position de la zone de départ dans le versant, de la pente du versant, de la taille, de la forme et du volume des blocs éboulés, de la nature de la couverture superficielle, de la végétation...



## Quels sont les types d'instabilité rocheuse ?

En fonction du volume des éléments mobilisés, on distingue les pierres (inférieur au  $dm^3$ ), les blocs (entre  $1 dm^3$  et  $1 m^3$ ) et les gros blocs (supérieur au  $m^3$ ).

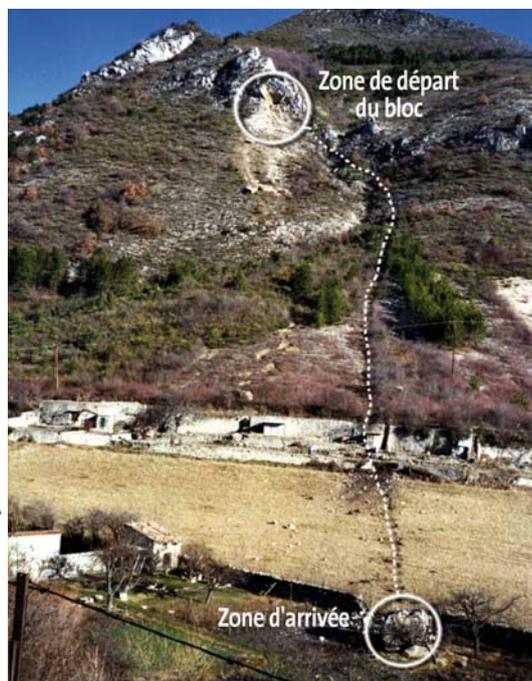
En fonction du volume total éboulé, les phénomènes sont distingués en :

- chutes de pierres ou de blocs (quelques dizaines à quelques centaines de  $m^3$ ) ;
- éboulement en masse (de quelques centaines à quelques centaines de milliers de  $m^3$ ) ;
- éboulements (écroulement) en grande masse (supérieur au million de  $m^3$ ).

## Comment décrit-on leur intensité?

En fonction :

- du volume total, de la taille des éléments ;
- de la parade à mettre en œuvre pour les contrer : faible (purge de blocs instables)/moyenne (drainage)/forte (pose de protection de type filet)/majeure (pas de parade technique) ;
- de l'importance des pertes humaines ; moyenne (accident isolé)/forte (quelques victimes)/majeure (quelques dizaines de victimes).



Source : ONF - Service RTMO5

Chute d'un gros bloc à Veynes (Hautes-Alpes, 05) – 1996. Le bloc a atteint le champ en contrebas.



Source : ONF - Service RTMO6



Éboulement en masse à Bouyon (Alpes-Maritimes, 06) - 2001

## Phénomènes aggravants pouvant résulter de glissements de terrain :

- formation d'embâcles [glossaire]

Selon le contexte ces phénomènes peuvent être plus dommageables que la chute de blocs dont ils résultent.



Source : ONF - Service RTMO5

Éboulement le long de la RN 91 à La Grave (Hautes-Alpes, 05) - 1995

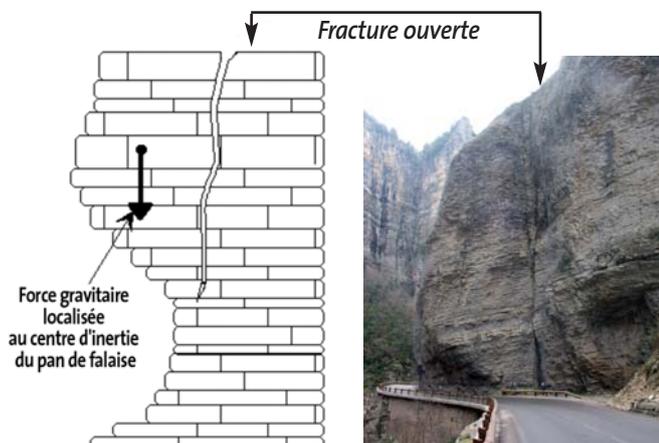


## Comment et où se déclenchent les chutes de masses rocheuses ?

La rupture se produit lorsque les forces motrices [glossaire] (liées à la pesanteur) dépassent les forces résistantes [glossaire] (liées à la résistance de la roche et à la résistance au cisaillement des discontinuités). Elle survient généralement après une longue phase de préparation pouvant passer inaperçue.

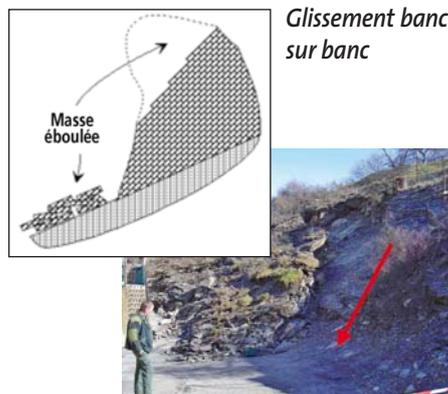
La chute d'une masse instable a lieu le long des discontinuités qui constituent des plans de faiblesse naturelle du massif : failles, fractures, diaclases, joints de stratification.

Ces chutes se produisent à partir de falaises, d'escarpements rocheux, de formations meubles à blocs (moraines par exemple), de blocs provisoirement immobilisés sur une pente et mettent en jeu divers mécanismes : basculement, rupture de pied, de surplomb, glissement banc sur banc, fauchage, etc.



Fracture ouverte délimitant une masse rocheuse instable

Gorges du Cians (Alpes-Maritimes, 06) - 2008



Glissement banc sur banc

Tallard (Hautes-Alpes, 05) - 2004

## Quels sont les facteurs d'instabilité ?

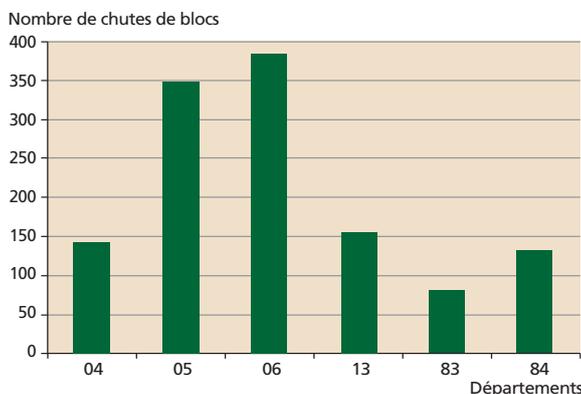
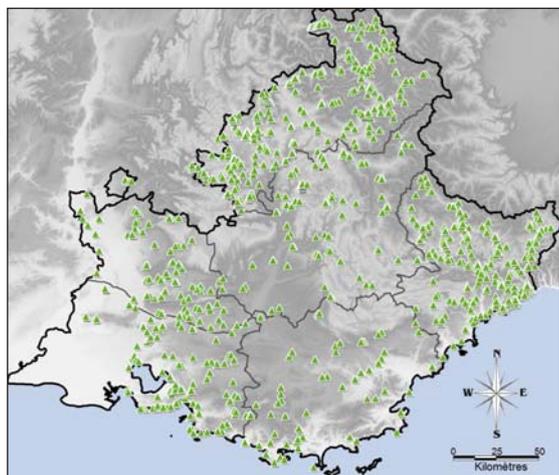
**Facteurs permanents**  
(= de prédisposition, de susceptibilité)

La **pesanteur** est le moteur des chutes ;  
La **morphologie** notamment la présence d'escarpements rocheux et leur géométrie, est déterminante ;  
L'**eau** diminue la résistance au frottement au niveau des discontinuités, altère les matériaux ;  
La **nature des terrains** (lithologie) conditionne directement leur sensibilité aux instabilités rocheuses ;  
La **structure des terrains**, c'est-à-dire l'empilement des couches géologiques (stratigraphie) et les discontinuités (fracturation, failles, joints de stratification), détermine les surfaces de rupture.

**Facteurs variables dans le temps**  
(= déclenchant, aggravant)

Les **précipitations** et la **fonte des neiges** augmentent les pressions interstitielles et diminuent les frottements dans les discontinuités ;  
Les **épisodes de gel-dégel** ont pour effet d'élargir les discontinuités ;  
Les **séismes** provoquent des vibrations qui peuvent déstabiliser des masses rocheuses ;  
Les **racines des végétaux** s'introduisent dans les discontinuités et les agrandissent ;  
Les **actions humaines** (terrassements, vibrations : explosion, rejets, fuites ou pompages d'eau, etc.) peuvent déclencher des chutes de masses rocheuses ;  
Le **couvert végétal** : plus il sera dense plus il réduira significativement la surface de la zone de réception en freinant les blocs.

## La répartition géographique des événements chutes de blocs en Provence-Alpes-Côte d'Azur \*



Les formations sujettes au phénomène chutes de blocs sont toutes les formations indurées type calcaire, dolomies, grès, roches métamorphiques... Les chutes de blocs se produisent régulièrement le long des parois terrassées pour le passage du réseau routier. Plus rarement, des éboulements de grande ampleur peuvent également se produire.

\*Données issues des inventaires réalisés dans le cadre de la cartographie régionale alean mouvement de terrain en cours [ERS] (source : BD Mvt, RTM, Conseils Généraux).

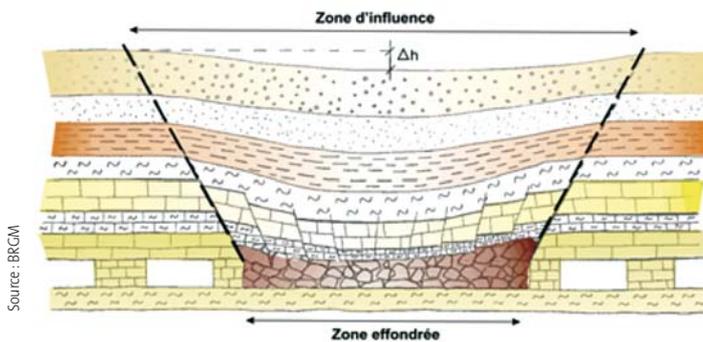


# Les effondrements et les affaissements

*C'est la présence ou non en surface d'une rupture qui différencie les affaissements des effondrements.*

## Qu'est-ce qu'un affaissement ?

Les affaissements, sont des dépressions topographiques en forme de cuvette plus ou moins profonde dues au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture, avec ou sans fractures ouvertes, consécutif à l'évolution d'une cavité souterraine. Il n'y a pas de rupture en surface. Des efforts de flexion, de traction et de cisaillement, et des tassements différentiels peuvent se manifester dans les zones de bordure. Dans certains cas, les affaissements peuvent être le signe annonciateur d'effondrements.



Affaissement à Chateaudouble (Var, 83)

Source : BRGM

Source : BRGM

Une couverture épaisse formée de terrains souples et déformables ou meubles en surface sera favorable à des phénomènes de type fontis et affaissements.



## Qu'est-ce qu'un effondrement ?

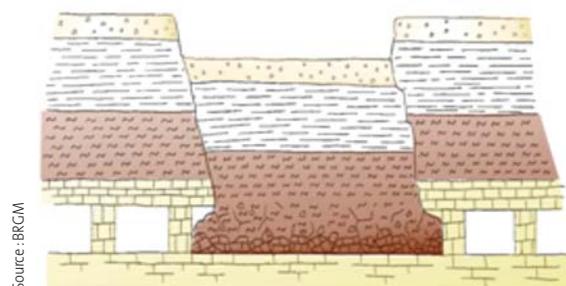
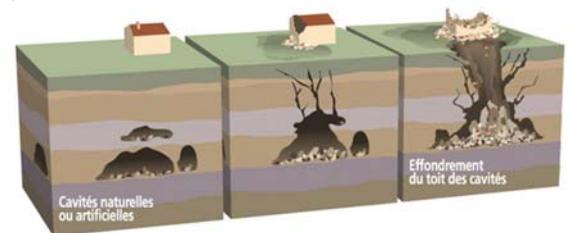
Les effondrements, se produisent de façon brutale. Ils résultent de la rupture des appuis ou du toit d'une cavité souterraine, rupture qui se propage jusqu'en surface de manière plus ou moins brutale, et qui détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique. Les dimensions de cette excavation dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture. Le phénomène peut être ponctuel (fontis, diamètre inférieur à 50 m, occasionnellement 100 m) ou généralisé (plusieurs hectares).



Source : BRGM

Effondrement à Bargemon (Var, 83)

Source : prim.net



Source : BRGM

Effondrement par rupture de piliers

La présence d'un banc raide dans les terrains recouvrant la cavité favorise les effondrements généralisés. Selon la profondeur de l'effondrement, un glissement de ses flancs peut se produire après l'événement.

Source : BRGM



Effondrement à Saint-Pierre-les-Martigues (Bouches-du-Rhône, 13)

## Comment se déclenchent-ils ?

Dans le cas des cavités dues au travail de l'homme, l'effondrement résulte de la rupture progressive du toit (fontis), de la rupture locale d'un pilier (effondrement localisé), de la rupture de plusieurs piliers (effondrement généralisé) ou de la rupture des murs de la cavité (poinçonnement).

Dans le cas des cavités naturelles, l'effondrement est le plus souvent dû à l'instabilité des voûtes souvent favorisée par la présence de failles ou de diaclases. Des phénomènes de débouillage brutal du remplissage sableux ou argileux des poches karstiques se produisent fréquemment à la suite de précipitations exceptionnelles et peuvent remonter jusqu'à la surface.



Source : BDMVT  
Effondrement généralisé lié à la présence d'anciennes carrières souterraines – Gargas (Vaucluse, 84)



Source : BRGM

Effondrement à Aix-en-Provence (Bouches-du-Rhône, 13)

## Quels sont les facteurs d'instabilité ?

### Facteurs permanents (de prédisposition)

La **pesanteur** est le moteur du mouvement ;

L'**eau** : creuse certaines cavités (gypse), est responsable de l'altération physico-chimique des matériaux, met en charge les terrains recouvrant ;

La **nature des terrains** (lithologie) détermine la présence des cavités naturelles (dissolution du gypse) ou des mines et carrières ;

La **structure du gisement** (pendages, discontinuités) a une influence directe sur la stabilité de la cavité ;

Les **paramètres d'exploitation** des cavités anthropiques sont également des facteurs déterminants (taux d'exploitation, géométrie du découpage, mode d'abattage, etc.).

### Facteurs variables dans le temps (déclenchant, aggravant)

**Hygrométrie.** L'infiltration d'eaux superficielles ou les variations du niveau des nappes phréatiques peuvent altérer considérablement la résistance mécanique des matériaux ;

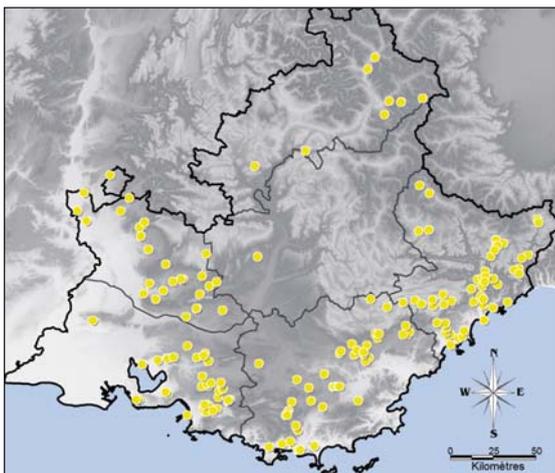
**Mise en charge hydraulique.** Après de longues périodes pluvieuses, l'augmentation de la masse des terrains recouvrant peut entraîner l'effondrement de cavités ;

Les **séismes** provoquent des vibrations qui peuvent entraîner l'effondrement de cavités ;

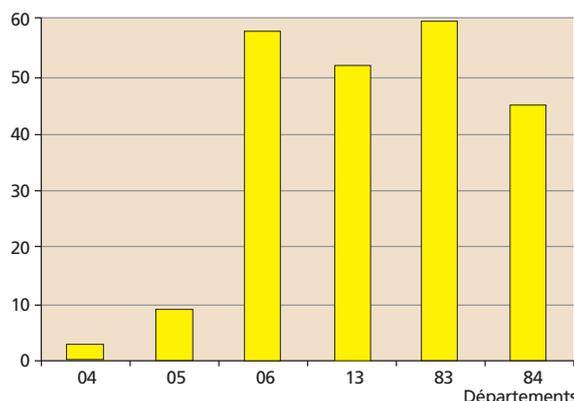
Les **actions humaines en surface** (construction, terrassement, dépôts de remblais, circulation, transports, etc.) engendrent des surcontraintes, des vibrations ou des ébranlements pouvant accélérer le processus naturel de dégradation des cavités. Certaines activités modifient défavorablement les écoulements d'eau (déboisement, fuites de canalisation, etc.).

## La répartition géographique des événements "affaissements et effondrements" en Provence-Alpes-Côte d'Azur\*

Ces événements sont difficilement recensables. Lorsqu'ils sont de petite ampleur, ils peuvent même passer inaperçus. Néanmoins, en Provence-Alpes-Côte d'Azur, on note de nombreux effondrements liés à la présence de carrières souterraines, dans le Vaucluse et dans les Bouches-du-Rhône. En outre, dans le Var et dans une moindre mesure dans les Alpes-Maritimes, des effondrements spectaculaires se produisent dans les formations gypseuses du Trias.



Nombre d'effondrements et d'affaissements



\*Données issues des inventaires réalisés dans le cadre de la cartographie régionale alea mouvement de terrain en cours [ER5] (source : BD Mvt, RTM, Conseils Généraux).



# Les coulées de boue

## Qu'est-ce qu'une coulée de boue ?

Les coulées boueuses sont des phénomènes très **rapides** affectant des masses de **matériaux remaniés**, soumis à de **forte concentration en eau**, sur de **faibles épaisseurs** généralement (0-5 m). Ce type de phénomène est caractérisé par un fort remaniement des masses déplacées, une cinématique rapide et une **propagation importante**.

La coulée de boue est le plus rapide (jusqu'à 90 km/h) et le plus fluide des différents types de mouvements de terrain.

Son comportement est intermédiaire entre celui d'un solide et d'un liquide, et régi par les lois des domaines à la fois de l'hydraulique et de la mécanique des solides, ce qui en fait un phénomène particulier dans la famille des mouvements de terrain.



Coulée boueuse à Gorbio (Alpes-Maritimes) en décembre 2003.

Photo du haut : niche d'arrachement = zone de départ de la coulée, photo du bas : zone d'arrivée : accumulation des matériaux boueux

Source: ONF-Service RTM 06



Source: ONF-Service RTM 06

## Caractéristiques générales

Les matériaux mobilisés par les coulées de boue sont généralement très hétérogènes (argile, sable, rochers). Cette charge très importante en matériaux solides (environ 1/4 d'eau et 3/4 de matériau solide), leur confère une grande capacité érosive et destructive notamment, du fait de la présence de blocs charriés au sein même de la coulée. Ce sont de ce fait des **phénomènes très érosifs**.

Elles peuvent s'écouler dans le lit des torrents et éventuellement s'étaler sur les cônes de déjection torrentiels pouvant générer ainsi une menace importante pour les vies ou les installations humaines. Elles peuvent s'arrêter "en masse", laissant des dépôts d'épaisseur importante de l'ordre du mètre.



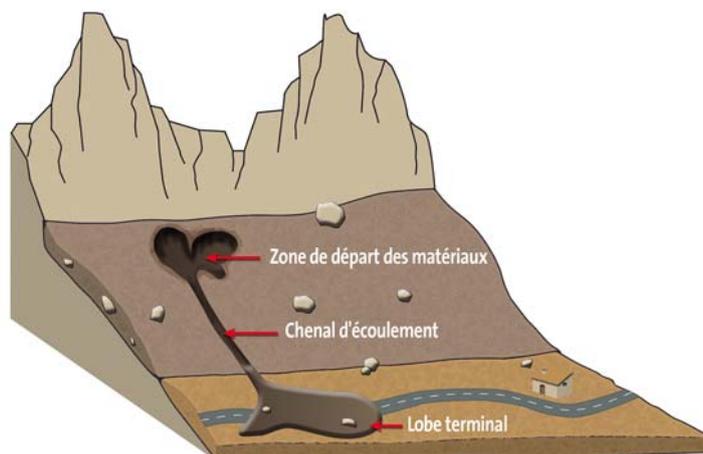
Source: ONF-Service RTM 04

Coulée boueuse à Faucon (Alpes de Haute-Provence, 04 – 2003)

## Quelles sont les morphologies induites par les coulées de boue ?

Suite à une coulée de boue, il est presque toujours possible d'observer :

- une zone supérieure élargie (rassemblement de matériaux par exemple au pied d'un glissement, zone de départ de la coulée) ;
- un chenal d'écoulement beaucoup plus étroit et de longueur extrêmement variable (zone de transfert) ;
- un lobe terminal (zone d'accumulation) élargi en une sorte de cône de déjection mais de profil convexe.



## Comment se déclenchent-elles ?

Les coulées apparaissent dans des matériaux meubles lorsque leur teneur en eau augmente de manière importante. La mise en mouvement de ces matériaux a pour origine une perte brutale de cohésion. Ces coulées peuvent se produire depuis le corps ou le pied d'un glissement.



## Où se forment-elles ?

Les zones de colluvions, de glissements actifs ou anciens et de dépôts anthropiques dans un contexte morphologique favorisant d'importantes concentrations d'eau (talwegs, lit de rivière) constituent les sites potentiels d'apparition des coulées de boue. Il est fréquent que les coulées prennent naissance dans la **partie aval** d'un glissement de terrain ou dans des zones de ravinement intense.



Source : Conseil Général 05

Coulée boueuse à Villar d'Arène (Hautes-Alpes, 05) – 2008



Source : BRGM

Ravinement dans la formation géologique des terres noires évoluant en coulées boueuses à Serres (Hautes-Alpes, 05) – observation en 2006

## Quels sont les facteurs d'instabilité ?

### Facteurs permanents (de prédisposition)

La **pesanteur** est le moteur du mouvement ;  
La **pen**te régit directement l'équilibre des efforts mécaniques ;  
L'**eau** : met en charge les terrains, diminue leur cohésion, déstructure les formations (érosion), etc. ;  
La **nature et les caractéristiques des terrains** conditionnent l'apparition de coulées. Les sols meubles sont particulièrement exposés.

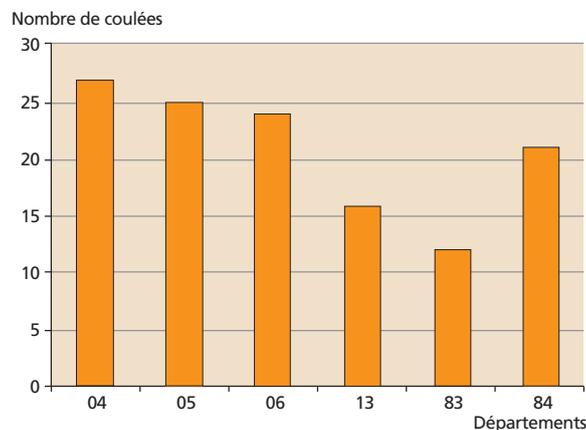
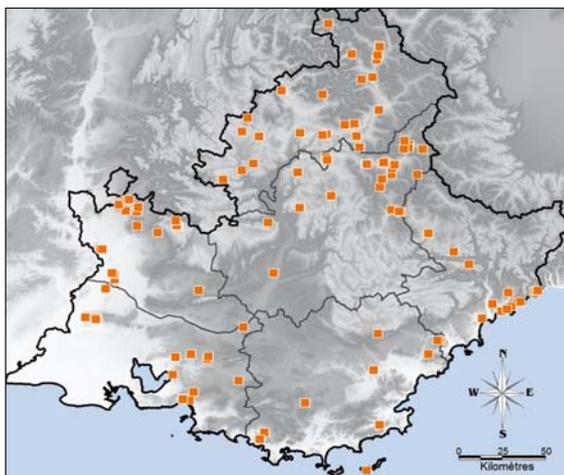
### Facteurs variables dans le temps (déclenchant, aggravant)

Les **fortes précipitations** sont le principal facteur déclenchant des coulées de boue ;  
La **fonte des neiges** ;  
Les **activités humaines** (fuite d'eau, terrassement).  
La **nature du couvert végétal** : zones dénudées, incendiées favorisant le ruissellement et l'érosion.



## La répartition géographique des événements "coulées" en Provence-Alpes-Côte d'Azur\*

Ce phénomène est très difficile à recenser car ses traces s'estompent le plus souvent rapidement. Bien que non exhaustive, la carte montre que le phénomène est récurrent dans le nord du Vaucluse, autour du Mont Ventoux, dans les bassins versants montagneux des vallées alpines, où les coulées peuvent charrier de gros blocs, ou encore dans les Alpes-Maritimes le long de la riviéra française où les pentes sont souvent très fortes.



\*Données issues des inventaires réalisés dans le cadre de la cartographie régionale aleva mouvement de terrain en cours [ER5] (source : BD Mvt, RTM, Conseils Généraux).





# Le retrait-gonflement des sols argileux

## Qu'est-ce que le retrait-gonflement des sols argileux ?

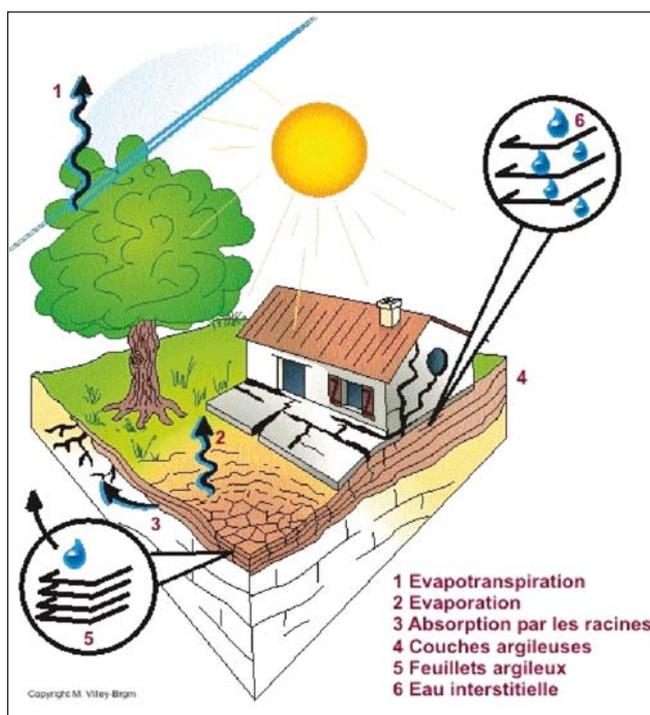
Le retrait-gonflement des argiles est lié aux variations de teneur en eau des terrains argileux : ils gonflent avec l'humidité et se rétractent avec la sécheresse.

Ces variations de volume induisent des tassements plus ou moins uniformes et dont l'amplitude varie suivant la configuration et l'ampleur du phénomène.

Sous une habitation, le sol est protégé de l'évapotranspiration [glossaire], et sa teneur en eau varie peu dans l'année. De fortes différences de teneur en eau vont donc apparaître dans le sol au droit des façades.

## Quel est l'origine de ces mouvements ?

Ce sont les variations de teneurs en eau dans le sol sous l'effet de l'évapotranspiration, qui sont à l'origine de ces mouvements. Ces variations influent sur le comportement de certains matériaux argileux : durs et cassants lorsqu'ils



sont desséchés, plastiques et malléables à partir d'un certain niveau d'humidité. Ces modifications de consistance s'accompagnent de variations de volume, dont l'amplitude peut être parfois spectaculaire.

## Manifestations du phénomène

Le phénomène se manifeste par des tassements différentiels provoquant des dommages dans les constructions si les fondations et la structure ne sont pas assez rigides. Ces dommages peuvent prendre plusieurs formes : fissurations en façade, décolllements entre éléments jointifs (garages, perrons, terrasses), distorsion des portes

et fenêtres, dislocation des dallages et des cloisons et, parfois, rupture de canalisations enterrées.

Les maisons individuelles sont les principales victimes de ce phénomène du fait de leur structure (légère et peu rigide, fondations superficielles).



Des mesures préventives lors de la construction de la maison peuvent être prises pour se protéger contre ce phénomène [PR5].



## Quels sont les facteurs d'instabilité ?

### Facteurs permanents (de prédisposition)

La **nature du sol** est le facteur de prédisposition prépondérant (proportion de matériaux argileux "gonflants", épaisseur et profondeur de l'horizon argileux, continuité des niveaux argileux) ;

L'**eau** : la présence d'une nappe phréatique et l'existence de circulations souterraines temporaires à faibles profondeurs peuvent être à l'origine de variations de la teneur en eau des niveaux argileux ;

La **géomorphologie** : un terrain en pente entraîne souvent une dissymétrie des fondations, aggravant les désordres. La pente est déterminante pour les circulations et les stagnations d'eau. L'orientation de la pente conditionne l'importance de la dessiccation ;

Le **couvert végétal** : les racines des végétaux aspirent l'eau du sol. En période sèche, les prélèvements d'eau par l'arbre sont supérieurs aux apports ce qui entraîne un tassement du sol autour de l'arbre ;

Les **défauts de construction** : les maisons touchées présentent souvent des défauts de conception ou de fondation, ou encore une insuffisance de chaînage (horizontal, vertical, liaisons entre chaînages).

### Facteurs variables dans le temps (déclenchant, aggravant)

Les **phénomènes climatiques exceptionnels** sont le principal facteur de déclenchement du phénomène. Les variations de la teneur en eau sont liées à des variations climatiques saisonnières. Les désordres seront plus importants dans le cas d'une sécheresse particulièrement marquée, intervenant à la suite d'une période fortement arrosée. Deux paramètres primordiaux entrent en jeu : l'évapotranspiration et les précipitations ;

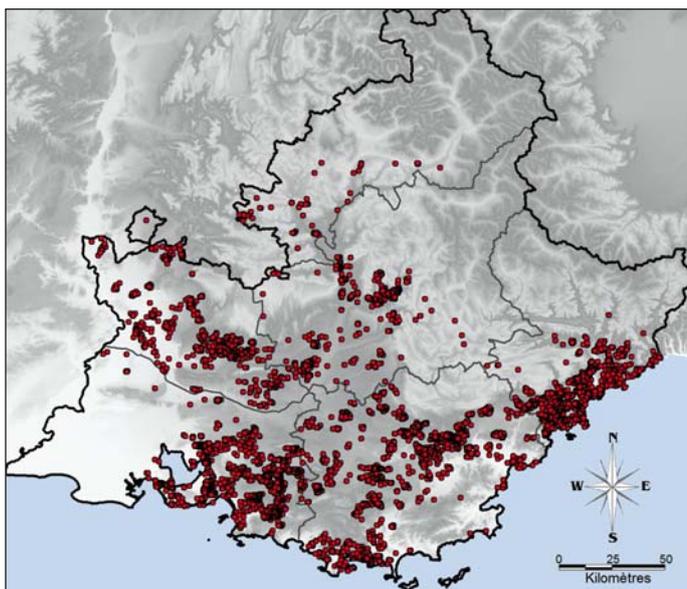
Les **activités humaines** peuvent être à l'origine du phénomène (drainage, pompage, plantations, imperméabilisation du sol, fuite, infiltrations d'eaux pluviales, source de chaleur en sous-sol).

## De quoi dépend l'ampleur du phénomène ?

- du **type de minéraux argileux** contenus dans le sol. Certaines argiles sont en effet dites "gonflantes" [glossaire] (par exemple smectites) ;
- des **caractéristiques initiales du sol** (densité, teneur en eau, degré de saturation). La succession d'une période fortement arrosée et d'une période de déficit pluviométrique constitue un facteur aggravant prépondérant ;
- de "**l'histoire**" du sol, en particulier de l'existence éventuelle d'épisodes antérieurs de chargement ou de dessiccation.

## La répartition géographique des sinistres liés au retrait-gonflement en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur \* ?

Un recensement des sinistres liés au phénomène est réalisé dans le cadre de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux sur les départements de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur [ER7]. Sur la région, début 2010, les cartographies sur les Alpes-Maritimes et les Hautes-Alpes sont en cours, et sur les autres départements, les cartes sont finalisées (consultables sur [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)). Même si cet inventaire n'est pas exhaustif, il donne une idée globale de la répartition des sinistres sécheresse sur le territoire régional. Les recensements menés lors de ces études ont permis de répertorier plus de 11 500 sinistres liés au retrait-gonflement sur l'ensemble du territoire régional.



\*Données issues des cartographies départementales de l'aléa menées en Provence-Alpes-Côte d'Azur et consultables sur le site internet : [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)

(la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) a calculé en 2008 le coût total des indemnités des sinistres liés au retrait-gonflement sur le territoire métropolitain. En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ce sont près de 500 millions d'euros qui ont été versés par les compagnies d'assurance aux sinistrés de 1989 à 2003).





# Inventaires mouvements de terrain et cavités souterraines

Depuis 2001, le BRGM, à la demande du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer, réalise une campagne d'inventaires départementaux des événements mouvements de terrain.

L'objectif de cette opération est :

- d'établir un bilan aussi exhaustif que possible des événements mouvements de terrain qui se sont produits sur le territoire départemental, et enrichir la base de données mouvements de terrain nationale (BDMVT) gérée par le BRGM en collaboration avec le LCPC [X1] et les services RTM [X1]. Cette base est consultable en accès libre et gratuit sur internet : [www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr)
- d'identifier, à partir des événements inventoriés, les zones spécifiques où des actions complémentaires de type cartographies d'aléa ou PPR seraient à mener, et des zones plus générales pour la réalisation par exemple de scénarios.

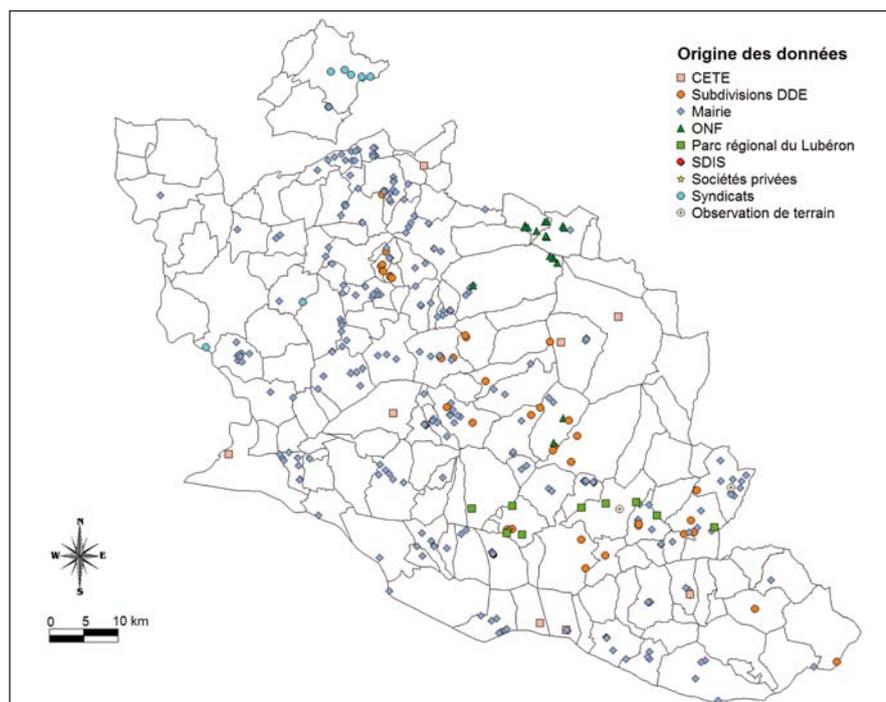
Ces inventaires ne concernent pas les phénomènes retrait-gonflement qui font l'objet d'une cartographie d'aléa spécifique [ER7].

En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, ces inventaires sont terminés sur les trois départements du sud (Var, Vaucluse, Bouches-du-Rhône). Concernant les trois départements alpins (Alpes-Maritimes, Hautes-Alpes, Alpes de Haute-Provence), les services RTM ont en charge la mise à jour et la saisie des données.

Ces inventaires concernent les glissements de terrain, les chutes de blocs, les coulées de boues, les effondrements/affaissements et les érosions de berges. Le recensement des cavités souterraines (hors mines) est réalisé sur le même principe et consultable sur le site internet suivant : [www.cavites.fr](http://www.cavites.fr). Enfin, les carrières et mines sont quant à elles recensées dans la base Carol : <http://carol.brgm.fr>.

## 1. Enquêtes communales et recensement des événements auprès des communes, des bureaux d'études et des administrations.

La cartographie ci-dessous est issue de l'inventaire des événements mouvements de terrain sur le département des Bouches-du-Rhône, classés en fonction de l'origine des informations.



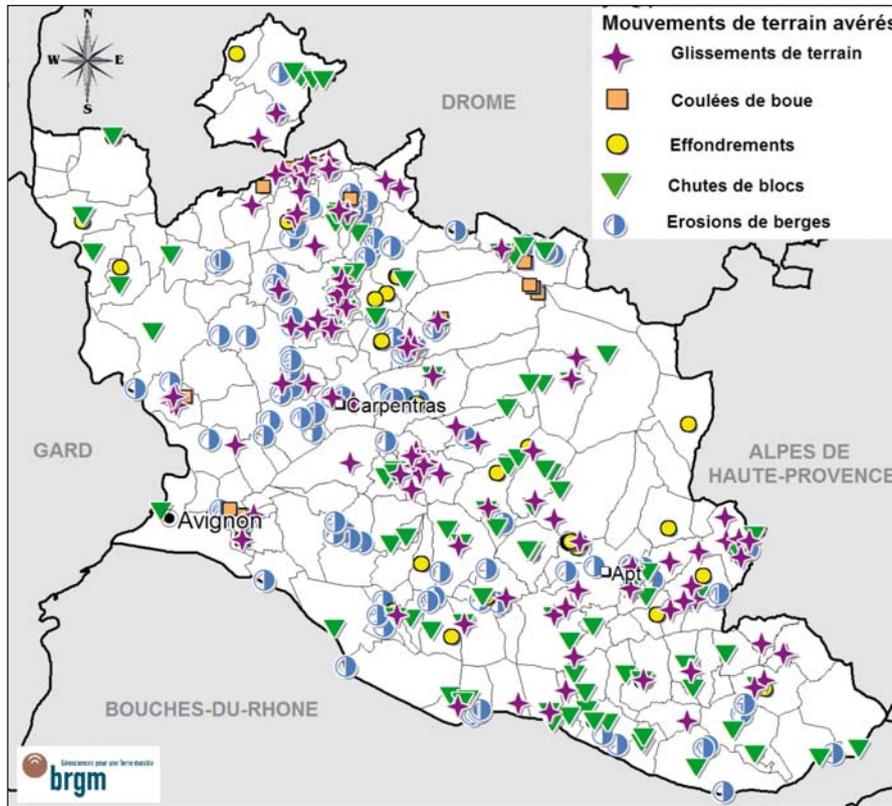
## 2. Acquisition de données complémentaires et validation.

Validation sur le terrain : caractérisation des mouvements recensés ; repérage de phénomènes complémentaires.  
 Valorisation des données et saisie : géoréférencement des phénomènes ; descriptif (fiches de saisie) ; saisie dans la base de données.

## 3. Synthèse et restitution cartographique des données et valorisation des résultats.

Synthèse des données

- Analyse critique de la représentativité des données recueillies ;
- Réalisation d'une carte de synthèse.



Exemple de cartographie départementale des mouvements de terrain. Ici, inventaire dans le Vaucluse mené en 2005-2007.

Sur les départements alpins, les données sont essentiellement issues de la "BD RTM Evénements". Celle-ci sera aussi consultable sur internet courant 2010. ([www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr))

## 4. Saisie sur BDMVT et mise à disposition.

Les événements recensés sont saisis sur BDMVT et mis en ligne grâce au site internet [www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr)



L'illustration montre l'interface d'accueil du site ainsi que ses principales fonctionnalités.

### Apports en termes de connaissance des risques

- Enrichissement de la base de données ;
- Amélioration de l'état des connaissances localement en ce qui concerne les phénomènes mouvements de terrain et les relations avec la géologie.

### Apports en termes de gestion du risque et d'aménagement

- Mise en évidence des communes ou des zones sur lesquelles des actions sont à mener ;
- Base de travail pour l'élaboration future des cartes d'aléa et de risque ;
- Aide à la programmation pour l'établissement des PPR [ER9].

Références : [www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr) ; [www.cavites.fr](http://www.cavites.fr) ; <http://carol.brgm.fr>.

Rapports sur [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr) : BRGM/RP-38671-FR - Gonzalez G. (1995) ; BRGM/RP-52543-FR - Mirgon C. (2002) ; BRGM/RP-53737-FR - Marçot N. (2005) ; BRGM/RP-55229-FR - Rivet F. (2007) ; BRGM/RP-56921-FR - Mirgon C. (2009) ; BRGM/RP-56731-FR - Gonzalez G. (2009).



# II

## L'évaluation du risque mouvements de terrain



ER.1



Principes généraux de l'évaluation  
du risque mouvements de terrain

ER.2



Principes généraux d'évaluation  
de l'aléa mouvements de terrain

ER.3



Paramètres d'évaluation de l'aléa mouvements  
de terrain en fonction du type de phénomène

ER.4



Les échelles d'évaluation  
et de cartographie de l'aléa



ER.5



Cartographie régionale  
de l'aléa mouvements de terrain

ER.6



Cartographie de l'aléa mouvements de terrain  
sur le littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

ER.7



Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols  
argileux à l'échelle départementale

ER.8



Cartographie de l'aléa mouvements de terrain  
à l'échelle d'un bassin de risque

ER.9



Cartographie de l'aléa mouvements de terrain  
à l'échelle communale / à l'échelle du tronçon routier



ER.10



Cartographie de l'aléa mouvements de terrain  
à l'échelle d'un site

ER.11



Echelle locale :  
méthodes de détection de cavités

ER.12



Axes d'étude sur l'évaluation du risque :  
vers une meilleure quantification de la vulnérabilité



Résumé au verso ▶

## II L'évaluation du risque mouvements de terrain



Le risque est défini comme le **croisement entre l'aléa et la vulnérabilité des enjeux**. Cependant, dans le cas des mouvements de terrain, **la vulnérabilité est difficile à qualifier** car les interactions entre les éléments exposés et les phénomènes qui peuvent les endommager sont complexes. Ainsi, pour la plupart des cartographies à petite échelle (au-delà du 1/100 000<sup>e</sup>), l'évaluation du risque mouvements de terrain, résulte de la superposition de l'aléa avec les enjeux sans tenir compte de leur vulnérabilité.

**L'évaluation de l'aléa** est à l'heure actuelle la composante principale du risque mouvements de terrain. Elle repose sur l'estimation de la **probabilité d'occurrence** du phénomène dans des délais donnés, et de **l'intensité** possible du phénomène. La probabilité d'occurrence peut être évaluée en estimant la prédisposition du site aux mouvements de terrain qui dépend de nombreux facteurs d'instabilité (nature géologique, pente, hydrogéologie, etc.) et des signes d'activité observés. L'intensité est le plus souvent évaluée de manière indirecte en fonction de l'importance des parades à mettre en œuvre pour traiter le risque.



Plusieurs méthodes existent pour qualifier l'aléa : l'analyse par **expertise**, l'analyse **statistique** et l'évaluation **déterministe** basée sur un modèle de stabilité. Le choix de la méthode dépend de la qualité et de la quantité des données disponibles, des délais et des moyens disponibles, des objectifs de l'évaluation, des enjeux. Les deux premières méthodes ne tiennent pas compte des facteurs déclenchant. L'approche déterministe nécessite de disposer d'une grande quantité de données.



En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, il existe plusieurs **cartographies de l'aléa** mouvements de terrain établies à des échelles variant du 1/500<sup>e</sup> au 1/1 000 000<sup>e</sup>. Le choix de l'échelle de cartographie dépend des objectifs de l'évaluation de l'aléa (aménagement du territoire, établissement des PPR [\[PR6\]](#), préparation à la gestion de crise, information du public). La cartographie de l'aléa à l'échelle régionale ou départementale permet de délimiter les bassins de risque et d'orienter l'évaluation locale de l'aléa sur les secteurs prioritaires.



Les principaux **axes d'étude** en matière d'évaluation des risques concernent la caractérisation de la vulnérabilité et le développement de **scénarios de risque**.





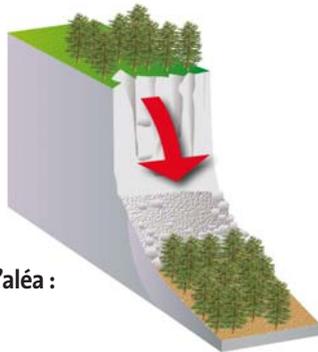
# Principes généraux de l'évaluation du risque mouvements de terrain

*Le risque se définit comme la rencontre entre un aléa et un enjeu vulnérable. L'aléa correspond à la probabilité pour un lieu d'être exposé à un événement donné. La vulnérabilité des enjeux exprime la gravité des effets et des conséquences en cas d'événement.*

Comment détermine-t-on le risque ?

## ÉVALUATION DE L'ALÉA

L'aléa mouvements de terrain peut être défini comme la probabilité d'occurrence d'un phénomène de nature et d'intensité donnée dans une période de référence fixée



Caractérisation de l'aléa :

- son emprise ;
- son intensité ;
- sa fréquence ou récurrence ou période de retour.

## ÉVALUATION DE LA VULNÉRABILITÉ DES ENJEUX

La vulnérabilité représente le degré d'endommagement potentiel d'un élément exposé à un phénomène donné.



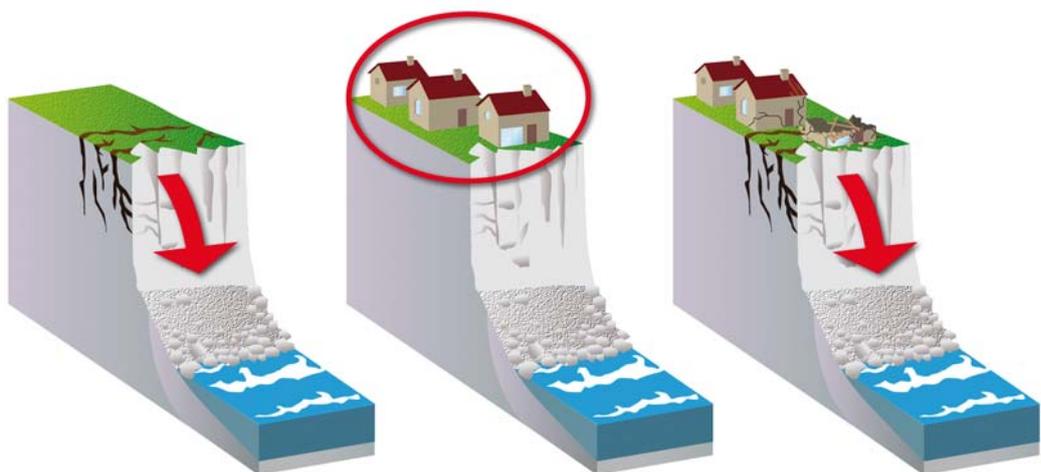
Source : BRGM

Les éléments exposés rassemblent les personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. Les enjeux représentent la valeur attribuée aux éléments exposés en fonction de l'aléa.

L'évaluation de la vulnérabilité des enjeux passe par :

- l'analyse du contexte naturel et anthropique ;
- l'identification des enjeux ;
- l'estimation des conséquences directes et indirectes d'un mouvement de terrain sur les différents types d'enjeux.

## ÉVALUATION DU RISQUE



Aléa

Enjeux

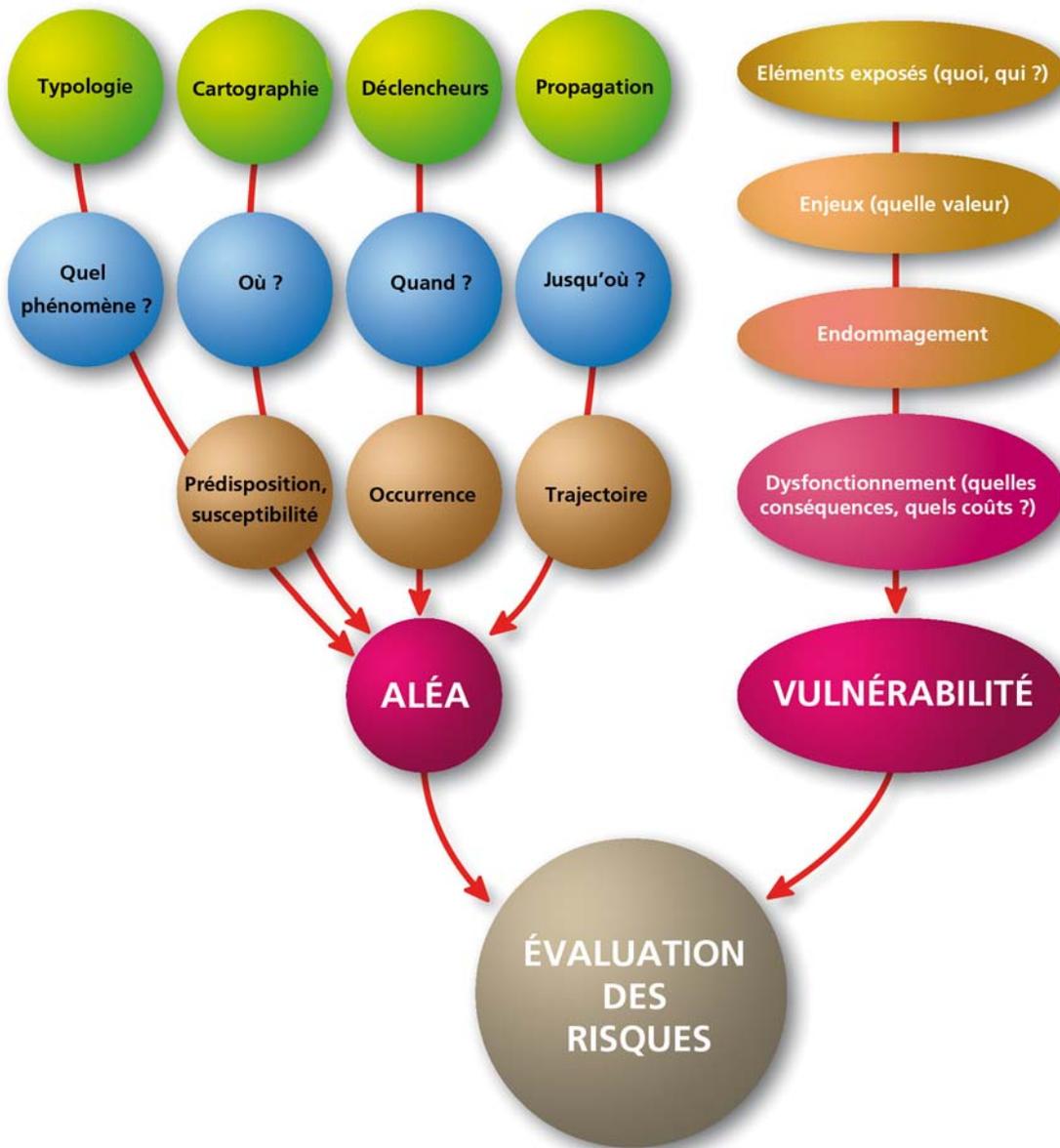
Risque



Actuellement, les connaissances scientifiques et les développements méthodologiques ne sont pas suffisants pour quantifier objectivement la vulnérabilité des enjeux aux mouvements de terrain.

L'évaluation du risque mouvements de terrain se résume alors, dans la majorité des cas, à la superposition de l'aléa et des enjeux identifiés en un lieu donné [ER12].

Le risque est qualifié (nul, faible, moyen, fort) mais non quantifié (niveaux de dommages).



Pour les mouvements de terrain, l'évaluation de l'endommagement est difficile car d'une part, les interactions mouvements de terrain / éléments exposés sont complexes et souvent de type "tout ou rien". D'autre part, la notion d'intensité de l'aléa n'est pas encore clairement définie.

Il n'existe pas une définition unique de l'intensité.

La détermination des dysfonctionnements quant à elle est indépendante du phénomène pris en compte. Ainsi les travaux et méthodes développés pour les inondations et les séismes peuvent être repris.



# Principes généraux d'évaluation de l'aléa mouvements de terrain

*L'aléa mouvements de terrain peut être défini comme la probabilité d'occurrence d'un événement mouvements de terrain d'intensité donnée dans une zone donnée sur une période de référence donnée.*

*Les deux composantes de l'aléa sont :*

- *la probabilité d'occurrence du phénomène dans des délais donnés ;*
- *l'intensité du phénomène potentiel.*

*Le niveau d'aléa s'obtient en combinant les facteurs de probabilité d'occurrence et d'intensité du phénomène potentiel.*



## La probabilité d'occurrence temporelle

La prévision de la date de déclenchement d'une instabilité de terrain est très rarement possible car elle dépend de facteurs permanents imparfaitement connus et de facteurs déclenchant non prévisibles avec certitude (pluies, séismes, vibrations, activités humaines, etc.).

En pratique, la probabilité d'occurrence est la plupart du temps estimée de façon qualitative (faible, moyenne, forte, très forte) en évaluant la prédisposition du site à un phénomène donné en fonction des facteurs permanents d'instabilité.

Cette probabilité est donnée en fonction d'une échéance (ex : pour les PPR [PR6] mouvements de terrain, la période de référence est le siècle).

## Intensité du phénomène potentiel

C'est l'expression de la violence ou de l'importance d'un phénomène potentiellement réalisable.

Elle est le plus souvent définie non pas de façon directe en fonction des paramètres physiques du phénomène (volume, vitesse, superficie, profondeur, etc.) mais de façon indirecte en fonction :

- du nombre de victimes potentiel : la gravité ;
- des dommages possibles : l'agressivité ;
- du coût des parades à mettre en œuvre : la demande de prévention potentielle.



NIVEAU INTENSITÉ	Niveau des mesures de prévention nécessaires
FAIBLE	10 % de la valeur vénale d'une maison individuelle.
MOYENNE	Parade technique financièrement supportable par un groupe restreint de propriétaires.
FORTE	Parades spécifiques et hautement qualifiées, intéressant une aire géographique débordant largement le cadre parcellaire ou celui d'un immeuble courant, et d'un coût important.
MAJEURE	Pas de parades techniquement possible (ou parade d'un coup insupportable pour la collectivité)

*Exemple d'échelle conventionnelle d'intensité (source : Guide LCPC)*

## La notion d'aléa de référence

Pour prévoir au mieux le phénomène qui pourrait se produire et dont il faut protéger les populations et les biens concernés, il convient de déterminer pour chaque type de mouvement de terrain le phénomène de référence susceptible de se produire sur un secteur homogène donné.

Conventionnellement, il s'agit du plus fort événement historique connu sur le site. Cependant, en l'absence d'antécédents identifiés sur le secteur considéré, on se base :

- soit sur le plus fort événement potentiel vraisemblable à échéance centennale ou plus en cas de danger humain ;
- soit sur le plus fort événement historique, observé dans un secteur proche, présentant une configuration similaire (géologie, géomorphologie, hydrogéologie, structure).

À chaque mouvement prévisible de référence est associé un aléa de référence.



## Approche par expertise



Source: BRGM

Visite de la cavité souterraine par le géologue afin d'évaluer le risque lié au vide souterrain (expertise par analyse terrain)

### DESCRIPTION

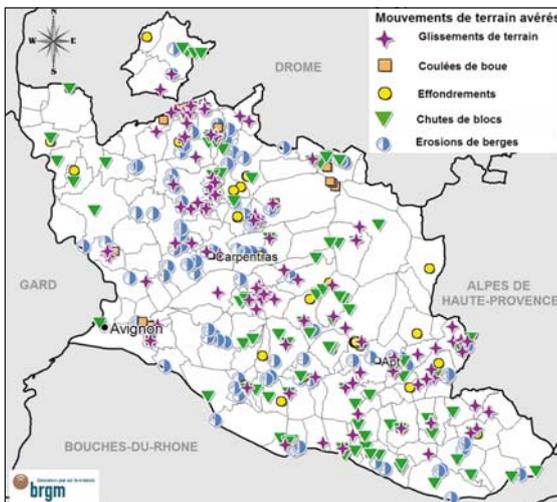
L'évaluation de l'aléa repose sur l'expérience de l'expert à travers une approche essentiellement naturaliste. Les règles pour définir le zonage sont rarement explicitées et pour la plupart qualitatives. L'expertise reste l'approche la plus employée compte-tenu de la modicité des moyens requis.

### INCONVÉNIENTS

- Peu explicite, cette approche n'autorise que rarement une critique constructive des cartes élaborées ; la comparaison des cartes réalisées par différents experts peut être de ce fait délicate ;
- Seuls les facteurs permanents [ER3] sont généralement pris en compte ; il s'agit donc d'un zonage dans le temps et non d'un modèle spatio-temporel.



## Approche statistique des événements historiques



Carte des événements mouvements de terrain passés sur le Vaucluse.

### DESCRIPTION

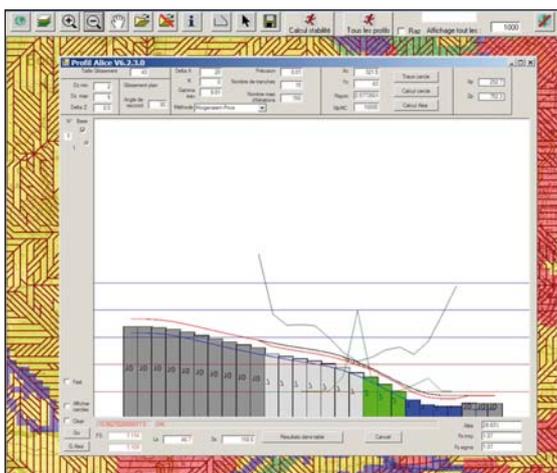
Elle est basée sur l'analyse en retour de phénomènes historiques connus. Il s'agit, par des traitements plus ou moins élaborés, d'extraire les facteurs de prédisposition aux mouvements de terrain [ER3] et in fine les règles de définition des zonages.

### INCONVÉNIENTS

- Nécessite d'avoir un échantillonnage représentatif pour réaliser des traitements statistiques significatifs. C'est un point particulièrement problématique qui motive le développement de bases de données exhaustives sur les mouvements de terrain ;
- Seuls les facteurs permanents [ER3] sont pris en compte (non prise en compte des facteurs déclenchant [ER3]).



## Approche déterministe



Source: BRGM

Exemple de modèle de stabilité pour les glissements

### DESCRIPTION

L'évaluation de l'aléa est basée sur une analyse mécanique de la stabilité à l'aide de modèles (modèles de stabilité) à deux ou trois dimensions. Le choix du modèle dépend des données disponibles. Le rôle des facteurs déclenchant [ER3] est pris en compte.

### INCONVÉNIENTS

- Le calage des modèles de stabilité est directement dépendant de la densité et de la qualité des données disponibles.



Le choix de la méthode dépend de :

- la densité, la précision, la fiabilité des données existantes ;
- la plus ou moins grande complexité et le degré de connaissance des processus physiques en jeu, la multiplicité des paramètres intervenant ;
- l'importance des enjeux socio-économiques et humains ;
- le délai et les moyens disponibles pour fournir l'évaluation ;
- les objectifs de l'évaluation de l'aléa.



# Paramètres d'évaluation de l'aléa mouvements de terrain en fonction du type de phénomène

*La détermination de la probabilité d'occurrence dans un délai donné et la caractérisation de l'intensité reposent sur la prise en compte :*

- des traces, des indices d'activité passée ou actuelle ;
- des facteurs d'instabilité permanents (= de prédisposition ou de susceptibilité) ;
- des facteurs d'instabilité variables dans le temps (= déclenchant).

*Ces paramètres dépendent du type de phénomène considéré et leur nombre est fonction de l'échelle du document cartographique.*



## Aléa Eboulements et chutes de blocs :

Pour qu'une chute de pierres ou de blocs d'intensité donnée atteigne un point donné il faut :

- qu'une masse rocheuse se mette en mouvement (probabilité de rupture) ;
- que cette masse rocheuse se propage jusqu'à ce point (probabilité de propagation).

### Paramètres contrôlant la rupture

- géologie (nature, structure, pendage [glossaire], stratigraphie) ;
- état de fracturation (fissures ouvertes [glossaire]) ;
- niveau d'altération de la roche, du massif ;
- structure de la roche ;
- circulations d'eau (action mécanique pression interstitielle, gel/dégel) ;
- végétation (action mécanique des systèmes racinaires) ;
- action marine en bord de mer ;
- zone sismique, présence de cavités.

### Paramètres contrôlant la propagation

- la forme et le nombre des éléments ;
- la nature du versant (meuble, compact) ;
- la morphologie du versant (pente, régularité topographique, replats, couloir, etc.) ;
- la présence d'obstacles (dépression, arbres, etc.).

L'intensité dépend du volume total de l'éboulement potentiel, du volume des blocs individuels, de leur énergie cinétique, de leur aptitude à se fragmenter au cours de la chute et de la propagation, de la diffusion ou de la concentration du phénomène, etc.



## Aléa Glissement

Si le glissement est supposé, on détermine sa probabilité d'occurrence (ou aléa), s'il est passé, on détermine sa probabilité de réactivation, s'il est en cours, on détermine son activité. Dans tous les cas, l'évaluation de l'aléa suit la même démarche : identification des facteurs de prédisposition au phénomène et de déclenchement du phénomène.

### Facteurs de prédisposition

- la nature, l'épaisseur, l'altération des terrains et leurs propriétés ;
- l'existence de discontinuités (failles [glossaire], couche savon [glossaire], etc.) ;
- morphologie du site (pente, etc.) ;
- hydrogéologie (circulations d'eau souterraine) et drainage du site.

### Facteurs de déclenchement

- d'origine naturelle (forte pluviométrie, fonte des neiges, etc.), sollicitations sismiques, érosion, crues ;
- d'origine anthropique (terrassement [PO1], vibration / explosion, fuite d'eau, surcharge, pompage, etc.).

L'intensité dépend du volume total du glissement, de sa surface, de sa vitesse, de l'épaisseur des terrains impliqués, etc.



## Aléa Effondrement et affaissement :

Dans le cas des effondrements et des affaissements, l'aléa (probabilité d'apparition du phénomène) dépend à la fois de la probabilité de présence d'une cavité en un lieu et de la prédisposition de cette cavité à la rupture.

### Probabilité de présence de cavités

Selon l'échelle du rendu cartographique ;

- elle est fonction de la susceptibilité du site à receler des matériaux exploitables en souterrain ou sujets à dissolution, et de la présence avérée de cavités ;
- de la connaissance géométrique de la cavité, et des caractéristiques mécaniques de son encaissant et de son recouvrement.

### Facteurs de prédisposition

- nature du massif rocheux ;
- structure du gisement (pendage des couches) et de son recouvrement ;
- conditions hydrogéologiques défavorables
- facteurs géomorphologiques (falaise sous minée, présence d'un versant) ;
- conditions d'exploitation ;
- hygrométrie [\[glossaire\]](#) et altération du milieu.

L'intensité dépend du diamètre et de la profondeur de l'effondrement, de la mise en pente dans le cas d'un affaissement, de la présence de ruptures nettes, de la brutalité du phénomène, etc. Elle est liée de la prédisposition des terrains recouvrant la cavité à propager l'effondrement vers la surface.



## Aléa Coulées de boue

La probabilité d'apparition d'une coulée dépend de la combinaison de paramètres permanents (prédisposition) et de facteurs déclenchants.

### Facteurs de prédisposition

- présence de matériaux fins, peu cohérents ou remaniés ;
- pente / talweg ;
- bassin versant amont et / ou nappe phréatique superficielle (circulation permanente d'eau).

### Facteurs de déclenchement

- pluviométrie exceptionnelle, en intensité et / ou sur la durée ;
- apport brutal d'énergie par un glissement, un écroulement ou un séisme.

L'intensité peut être approchée par l'estimation du volume mobilisé, la charge en gros blocs, ou la vitesse d'écoulement.



## Aléa Retrait-gonflement des sols argileux

Actuellement, la probabilité d'occurrence du phénomène est approchée en combinant la susceptibilité des formations géologiques (sensibilité) au phénomène avec la sinistralité observée sur ces formations. Les méthodologies actuelles ne tiennent pas compte des facteurs déclenchant.

### Facteurs de prédisposition (susceptibilité au phénomène)

- forte proportion d'argile dans la formation géologique ;
- présence de minéraux argileux gonflants dans ces argiles [\[glossaire\]](#).

L'intensité peut être approchée par l'évaluation de la profondeur du sol affecté ou l'ampleur des mouvements différentiels.





# Les échelles d'évaluation et de cartographie de l'aléa

*En région Provence-Alpes-Côte d'Azur, les cartographies de l'aléa mouvements de terrain existantes sont établies à des échelles variant du 1/500° au 1/1 000 000°. Ces cartographies ont été réalisées par les organismes régionaux et les bureaux d'études travaillant sur la thématique pour les besoins des services déconcentrés de l'État, des collectivités territoriales ou encore des communes. Le choix de l'échelle d'évaluation et de cartographie de l'aléa dépend avant tout du champ d'application et des objectifs assignés à cette évaluation. Les champs d'application les plus courants sont :*

- l'aménagement du territoire (développement et réglementation) ;
- la préparation à la gestion de crise ;
- l'information du public.



## Les échelles régionales et départementales

Les cartes d'aléa régionales ou départementales ont une échelle comprise entre le 1/50 000° et le 1/1 000 000°

### Objectifs :

- typologie régionale des mouvements de terrain ;
- documents d'information ;
- identifier les zones à risque pour orienter des études plus approfondies ;
- inventaires départementaux et régionaux.

### En Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- carte de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle du millionième sur la région ;
- carte régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000° en cours (territoire entièrement couvert fin 2010) ;
- cartographie des instabilités côtières disponible au 1/100 000° sur l'ensemble du linéaire côtier ;
- cartes de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux au 1/50 000° sur les départements 04, 13, 84, 83 (région entièrement couverte à l'horizon 2010).



## L'échelle du bassin de risque [glossaire]

Les cartes d'aléa d'un bassin de risque ont une échelle généralement comprise entre le 1/25 000° et le 1/50 000°.

### Objectifs :

- pré-analyse de l'aléa ;
- identification des zones à investiguer en détail ;
- définition d'outils et de typologie adaptés au contexte.

### En Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- cartes de l'aléa mouvements de terrain au 1/50 000° et au 1/25 000° sur les bassins de la Roya (06) et du Bas-Büech (05).



## L'échelle de la commune

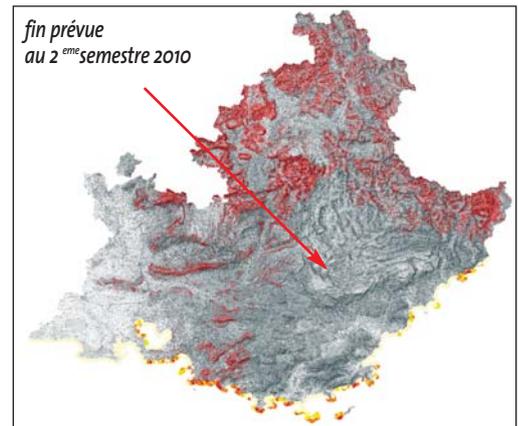
Les cartes d'aléa communales ont une échelle généralement comprise entre le 1/5 000° et le 1/10 000°.

### Objectifs :

- base pour l'établissement des cartes réglementaires (ex:PPR [PR5] ;
- outils d'aide à la décision.

### En Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- 75 communes ont un PPR approuvé [PR5] ;
- 74 communes ont un PPR prescrit [PR5].

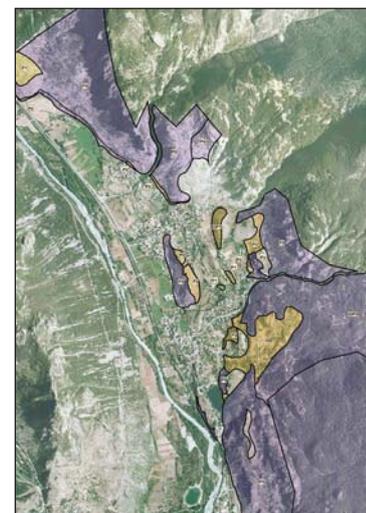
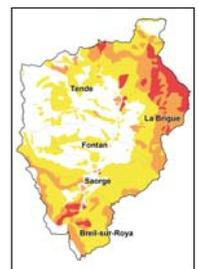
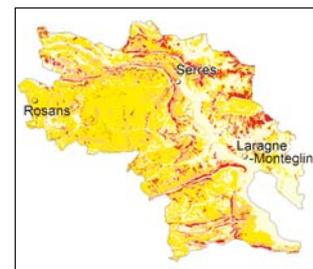


Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain et des instabilités des falaises côtières au 1/100 000°

### Cartographie aléa mouvements de terrain au 1/50 000°

Bassin versant du Haut-Buëch (Hautes-Alpes)

Vallée de la Roya (Alpes-Maritimes)

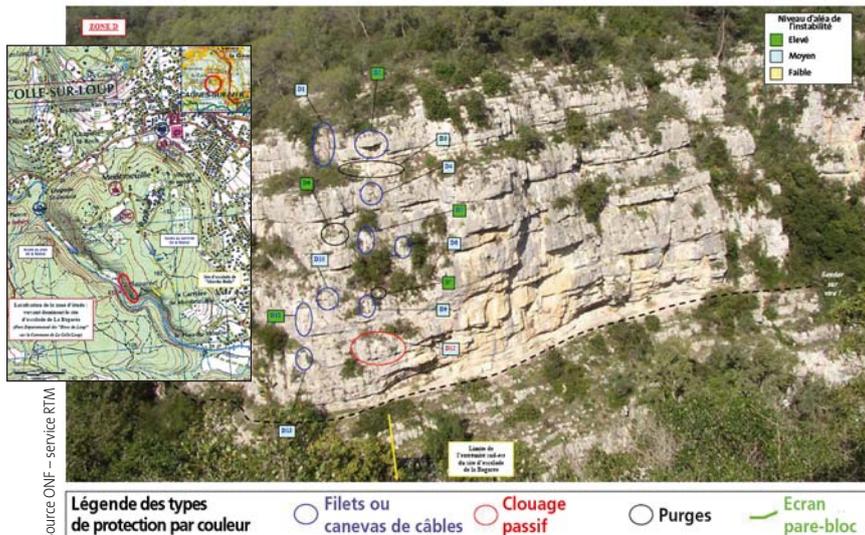


Source : ONF - service RTM

Cartographie aléa mouvement de terrain type PPR (échelle inférieure au 1/10 000°)

## L'échelle du site

Les études géotechniques “de site” ont une échelle allant du 1/5 000<sup>e</sup> au 1/5 000<sup>e</sup>



### Objectifs :

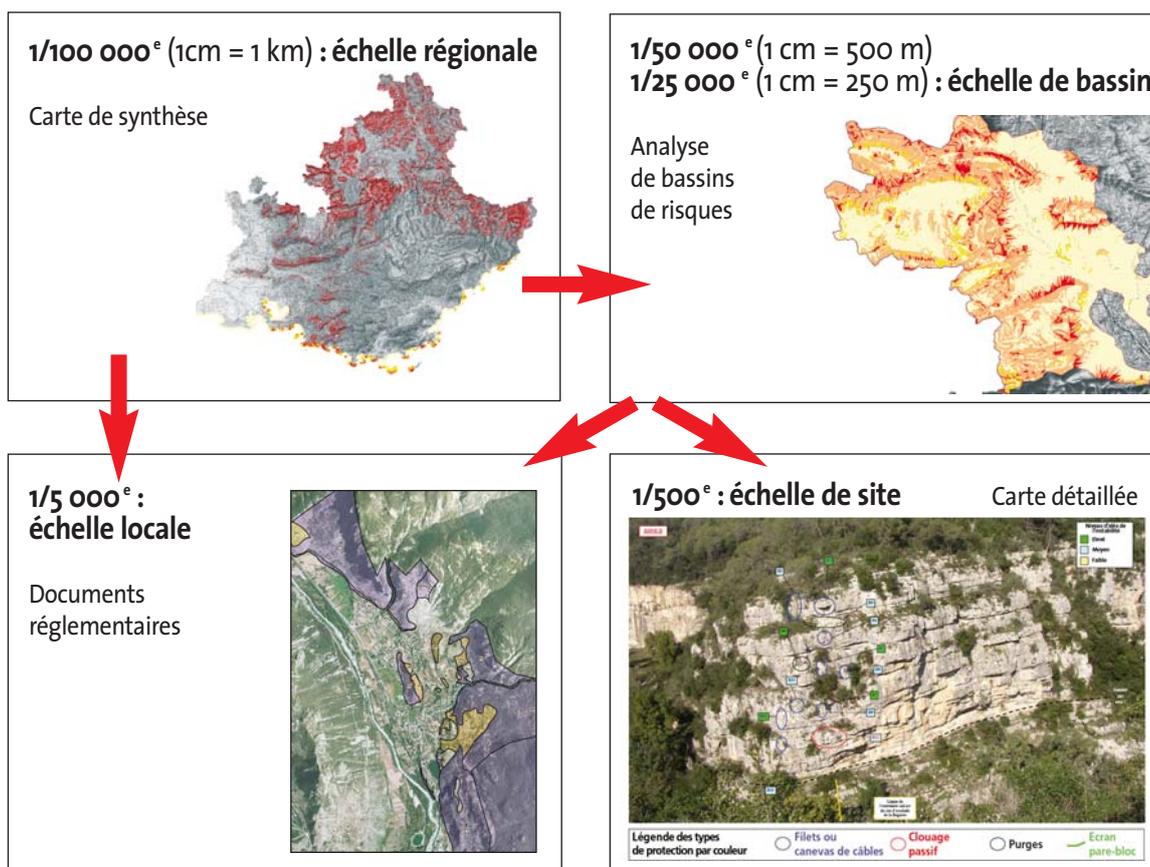
- déterminer et calibrer le type de parades à mettre en œuvre ;
- améliorer la connaissance.

### En Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- études locales menées ponctuellement à la demande de l'État, de la commune, ou d'un concessionnaire (ex : ESCOTA) ou de maîtres d'ouvrages privés.

## L'emboîtement des différentes échelles

Les différentes échelles de considération de l'aléa ne sont pas indépendantes les unes des autres mais “emboîtées”. En partant de l'échelle régionale ou départementale, il est possible de délimiter des bassins de risque et d'orienter l'évaluation locale de l'aléa vers les secteurs prioritaires en définissant notamment les besoins en cartographie réglementaire (PPR [PR5]). Actuellement, la plupart des méthodes d'évaluation de l'aléa se base sur une analyse intégrant différentes échelles et “zoom” progressivement d'une échelle “large” vers une échelle plus “fine”.



L'évaluation de l'aléa au 1/5 000<sup>e</sup> et au 1/10 000<sup>e</sup> pour les documents réglementaires doit tenir compte, la plupart du temps, d'un contexte dépassant le cadre communal. En effet, les mouvements de terrain peuvent être liés à des mécanismes, notamment hydriques, à considérer sur l'ensemble d'un versant ou d'un bassin versant indépendamment des limites territoriales. La pré-analyse au niveau du bassin de risque permet de définir les zones sur lesquelles les investigations doivent être poussées et de réduire ainsi les coûts des études. Les documents réglementaires délimitent ensuite les secteurs où des études détaillées de site doivent être menées.

# Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain

Une première cartographie à l'échelle du millionième a été menée en région Provence-Alpes-Côte d'Azur en 1999. Cette cartographie, très synthétique, a été suivie par une cartographie régionale plus fine à l'échelle du 1/100 000<sup>e</sup> (en cours). Ces cartes ont un but d'information sur l'aléa à l'échelle régionale pour le grand public et les gestionnaires, et servent de support pour orienter des études plus fines sur les secteurs sensibles identifiés.

## 1. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain au 1/1 000 000<sup>e</sup> sur la région

**Méthode utilisée :** approche statistique.

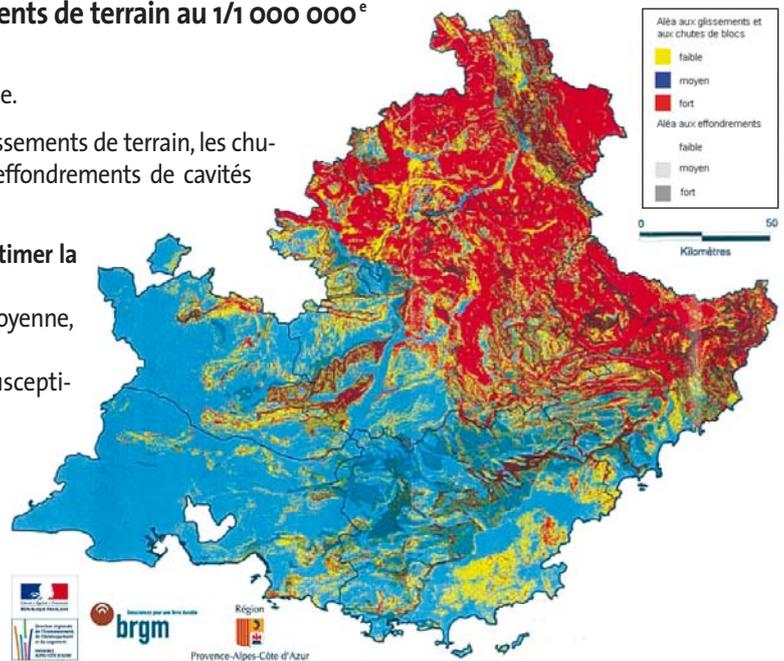
**Typologie :** trois phénomènes : les glissements de terrain, les chutes de blocs et éboulements, et les effondrements de cavités souterraines.

**Facteurs d'instabilité retenus pour estimer la probabilité d'occurrence :**

- la pente topographique (faible, moyenne, forte) ;
- la nature lithologique (niveau de susceptibilité).

**Remarques :**

- ne prend pas en compte l'intensité de l'aléa ;
- les facteurs d'instabilité variables dans le temps ne sont pas pris en compte.



## 2. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000<sup>e</sup> sur la région

**Méthode utilisée :** combinaison de l'approche par expertise et de l'approche statistique.

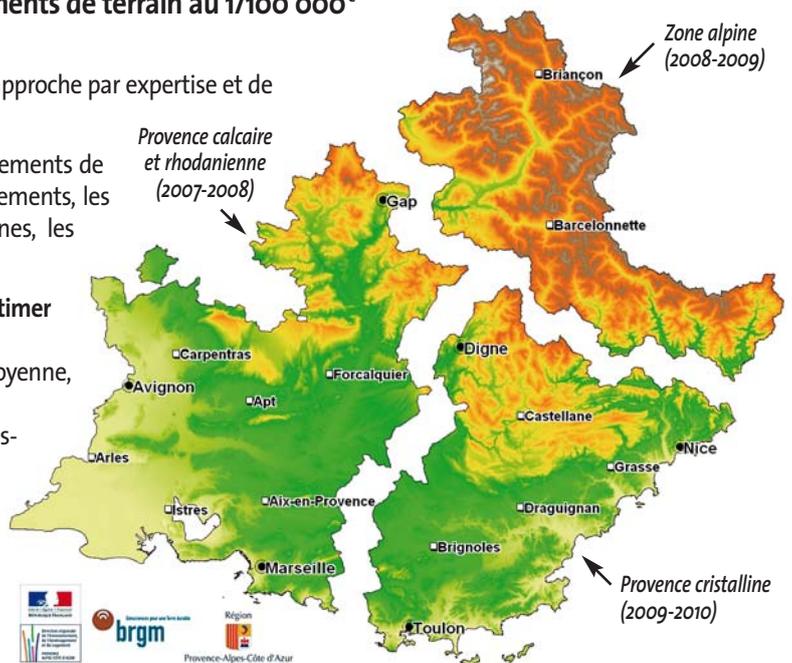
**Typologie :** 4 phénomènes : les glissements de terrain, les chutes de blocs et éboulements, les effondrements de cavités souterraines, les coulées de boue.

**Facteurs d'instabilité retenus pour estimer la probabilité d'occurrence :**

- la pente topographique (faible, moyenne, forte) ;
- la nature lithologique (niveau de susceptibilité) ;
- occupation du sol.

**Remarques :**

- l'aléa est déterminé de façon binaire ;
- le niveau d'aléa ne tient pas compte de l'intensité des phénomènes ;
- les facteurs d'instabilité variables ne sont pas pris en compte.



La région est divisée en 3 domaines géographiques et géologiques, étudiés successivement.

Références : Rapports sur [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr) : BRGM/R-40702-FR - Sedan O., Terrier M. (1999) ; BRGM/RP-57710-FR - Rivet F. (2007) ; BRGM/RP-56762-FR - Rivet F. (2009)

## 1. Inventaire des mouvements de terrain et typologie détaillée



**Type** : Éboulement de grande ampleur.

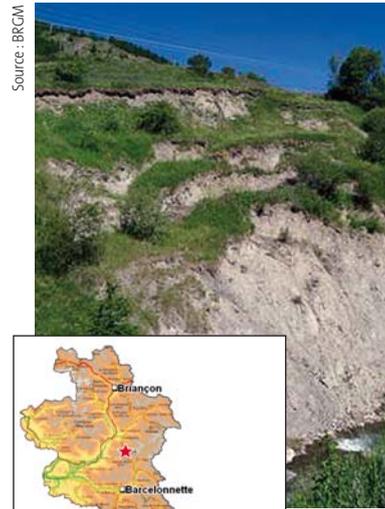
**Formation** : grès molassiques

du Miocène.

**Lieu, date** : Ménerbes (Vaucluse), 13 mai 1993.

**Volume** : près de 100 m<sup>3</sup>.

**Domages** : route encombrée et jardins dévastés.



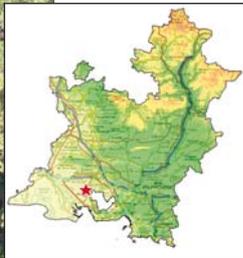
**Type** : Glissement de versant lent.

**Formation** : moraines sur substratum argileux.

**Lieu, date** : Vars (Hautes-Alpes), début du XIX<sup>e</sup> siècle, depuis le glissement présente des périodes de crise plus ou moins fortes.

**Volume** : environ 5,6 millions de m<sup>3</sup> (dont 3,5 actifs).

**Domages** : désordres sur habitations, lit du torrent encombré, chemin détérioré.



**Type** : Glissement de type fluage [glossaire].

**Formation** : argiles du Miocène.

**Lieu, date** : Istres (Bouches-du-Rhône), observé depuis 1973.

**Domages** : route encombrée et jardins dévastés.

### 2. Identification des formations sensibles pour chaque type de mouvement de terrain

### 3. Traitement particulier par type de phénomène

#### Glissements :

- regroupement des formations sensibles aux glissements ;
- identification des glissements cartés comme actifs sur les cartes géologiques.

#### Chutes de blocs et éboulements :

- analyse litho-pente ;
- estimation des zones d'arrêt des blocs rocheux éboulés.

#### “Coulées” :

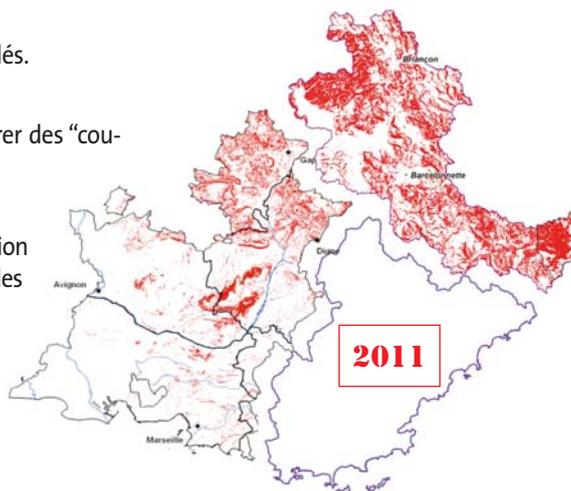
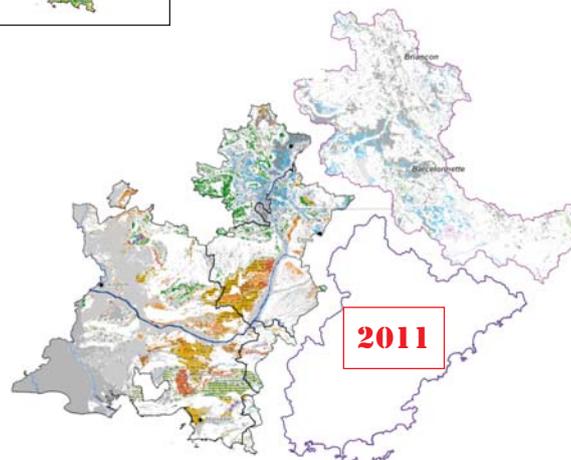
- sélection des bassins versants susceptibles de générer des “coulées”.

#### Affaissement et effondrements :

- sélection des formations susceptibles de karstification [glossaire] et des formations susceptibles d'abriter des cavités souterraines.

### 4. Carte d'aléa

Fin 2010, l'ensemble du territoire sera couvert pour chaque phénomène : aléa glissements de terrain, chute de blocs, coulées et effondrements.



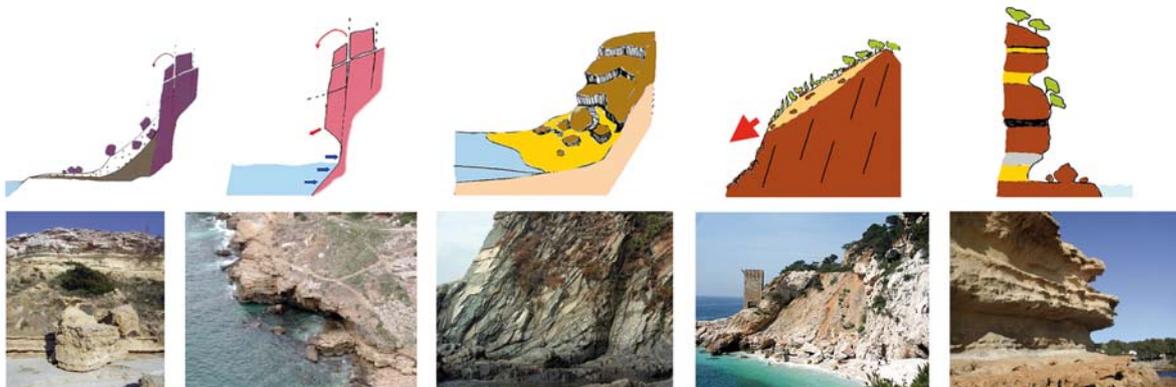
# Cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur le littoral de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

*L'étude de l'aléa liée aux falaises côtières sur la région Provence-Alpes-Côte d'Azur s'inscrit dans le CPER 2000-2006. Cette opération a comporté 3 phases. La première a consisté à dresser un état des lieux de l'érosion des falaises côtières, et à qualifier l'aléa instabilité. Des secteurs jugés sensibles en termes d'aléa ont ainsi été mis en évidence. La deuxième phase a permis de faire l'inventaire des enjeux puis la hiérarchisation du risque sur l'ensemble du linéaire. Enfin, la troisième phase a porté sur l'étude approfondie de 4 sites sélectionnés pour y proposer des parades et des schémas types d'aménagements. Les résultats d'une enquête de perception du risque par les usagers, réalisée au cours de l'étude, a permis une approche qualitative de la caractérisation de la vulnérabilité pouvant s'inscrire dans une politique de gestion du risque à l'échelle d'une commune littorale.*



Source: BRGM

## 1. Année 1 : État des connaissances et définition des aléas liés à l'instabilité des falaises côtières (en fonction de la géologie et de la morphologie)



Source: BRGM

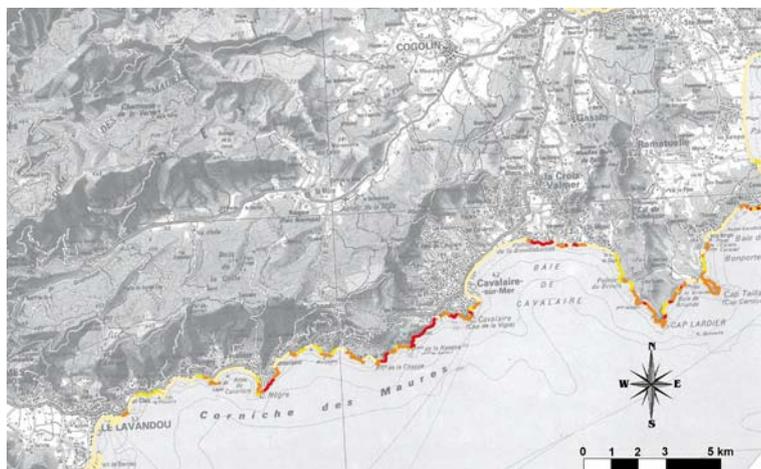
Les observations et expertises de terrain ont permis de caractériser plusieurs types d'instabilité et d'érosion se produisant sur les falaises côtières de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur.

### Aléa chutes de blocs / éboulements

- Aléa nul à faible
- Aléa faible
- Aléa modéré
- Aléa fort

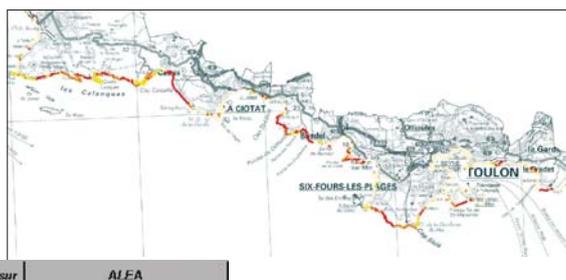
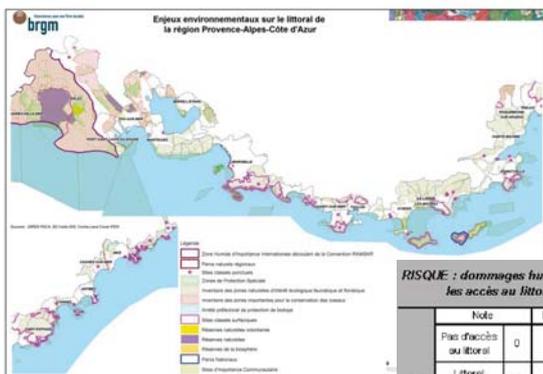
### Glissements de terrain / ravinements

- Présence de glissement de terrain / ravinement



L'aléa a été qualifié en termes d'intensité en fonction de nombreux critères (la morphologie, la géologie, les circulations d'eau, la structure de la roche, la fracturation, l'action marine).

## 2. Année 2 : Définition des enjeux et hiérarchisation du risque instabilité de falaises



Carte des enjeux

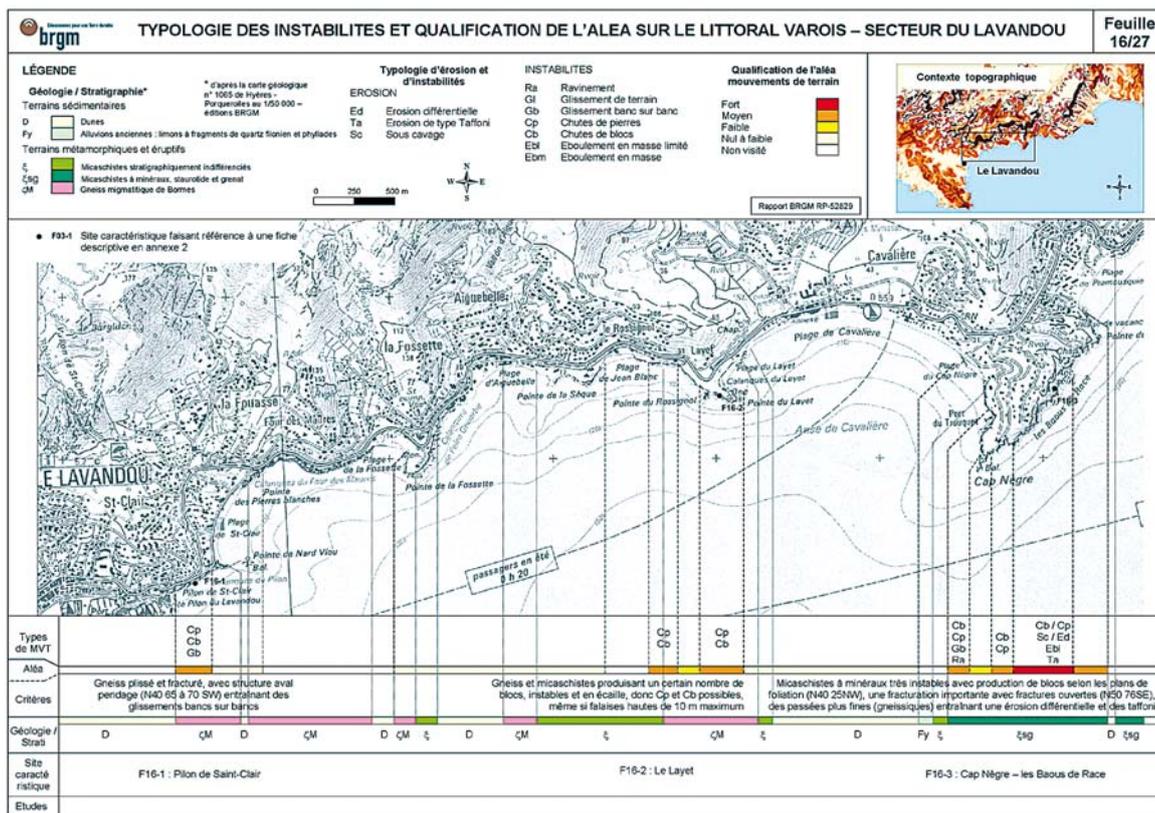
### Croisement aléa - enjeux

RISQUE : dommages humains sur les accès au littoral			ALÉA				
			Nul à faible	Faible	Moyen	Fort	
ENJEUX	Plans d'accès au littoral	0	Nul à faible	Nul à faible	Nul à faible	Nul à faible	
		2	Nul à faible	Faible	Faible	Moyen	
	Accès au littoral en période touristique*	Faible	0	Nul à faible	Faible	Moyen	Fort
		Moyen	1	Faible	Faible	Moyen	Fort
		Fort	1,5	Faible	Faible	Moyen	Fort
		Très fort	2	Faible	Moyen	Moyen	Fort

### Extrait de la hiérarchisation du risque

En croisant l'aléa avec les enjeux, le risque a pu être évalué et hiérarchisé sur l'ensemble du linéaire côtier régional.

Ainsi, sur l'ensemble du littoral rocheux de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, y compris celui de l'Étang de Berre et des îles habitées, des planches de synthèse reprennent les caractéristiques géologiques et les éventuelles instabilités de la falaise, ainsi qu'une qualification de l'aléa, du risque et des références aux études géotechniques ponctuelles déjà effectuées. L'exemple ci-dessous illustre un secteur du littoral Varois sur la commune du Lavandou.



Les événements mouvements de terrain, lorsqu'ils se produisent sur le littoral rocheux, entraînent le recul de celui-ci et une modification du trait de côte. Concernant le littoral sableux de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, des études ont été menées par les Conseils Généraux des Bouches-du-Rhône, du Var et des Alpes-Maritimes afin de mieux connaître son évolution.

Références : Rapports sur [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr) : BRGM RP-52829-FR - Marçot N. (2004) ; BRGM RP-53951-FR - Marçot N. (2005) ; BRGM RP-54316-FR - Marçot N. (2006) ; BRGM RP-56090-FR - Marçot N. (2008)



# Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux à l'échelle départementale

Un programme de cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux mené par le BRGM pour le compte du MEEDDM est en cours sur l'ensemble du territoire national. La région Provence-Alpes-Côte d'Azur sera entièrement couverte fin 2010.



L'objectif est de produire sur chaque département métropolitain une carte qui délimite les zones *a priori* sujettes au phénomène de retrait-gonflement et de hiérarchiser ces zones selon un degré d'aléa croissant. Ces documents servent de base pour l'élaboration des PPR [PR6]. En Provence-Alpes-Côte d'Azur, les départements des Alpes de Haute-Provence, des Bouches-du-Rhône, du Vaucluse et du Var sont couverts par la cartographie. Sur les départements des Alpes-Maritimes et des Hautes-Alpes, les études, actuellement en cours, s'achèveront en 2010.

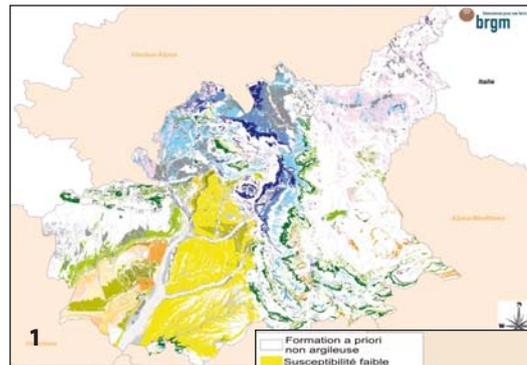
## Méthodologie nationale

La méthodologie suivie pour la réalisation de ces cartographies se résume en 3 étapes :

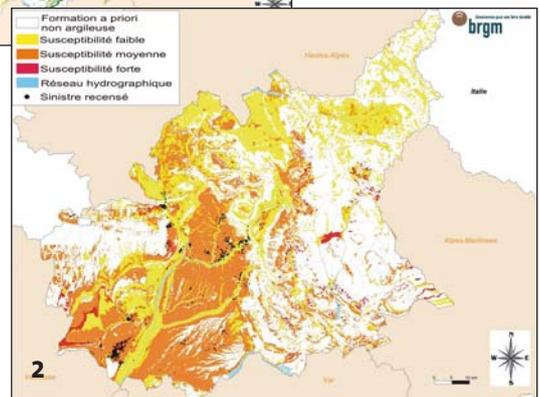
### 1. Réalisation des cartes de susceptibilité

Les formations géologiques argileuses et marneuses sont identifiées à partir des cartes géologiques au 1/50 000° (1).

Le niveau de susceptibilité de chaque formation est caractérisé en fonction de trois critères (géotechnique, minéralogique, lithologique).

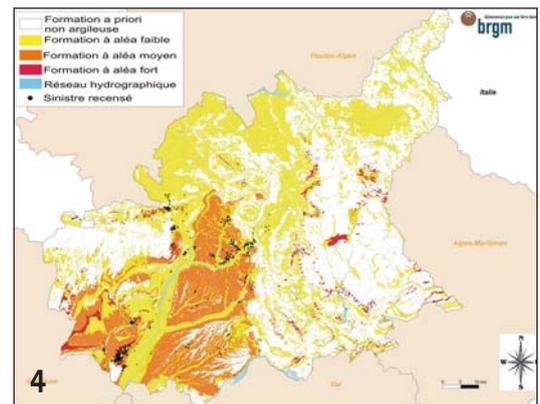
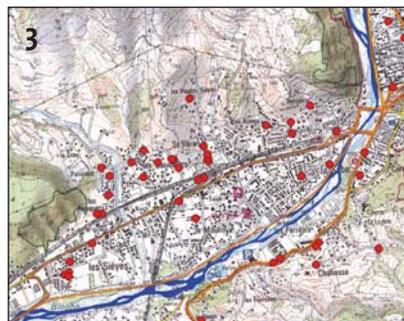


La carte de susceptibilité est obtenue en attribuant à chaque formation argileuse ou marneuse le niveau de susceptibilité préalablement défini (2).



### 2. Recensement des sinistres liés au retrait-gonflement des argiles

Les sinistres associés au retrait-gonflement des sols argileux sont recensés et localisés (3). Pour chaque formation identifiée comme argileuse, une densité de sinistre est estimée en tenant compte de l'urbanisation.

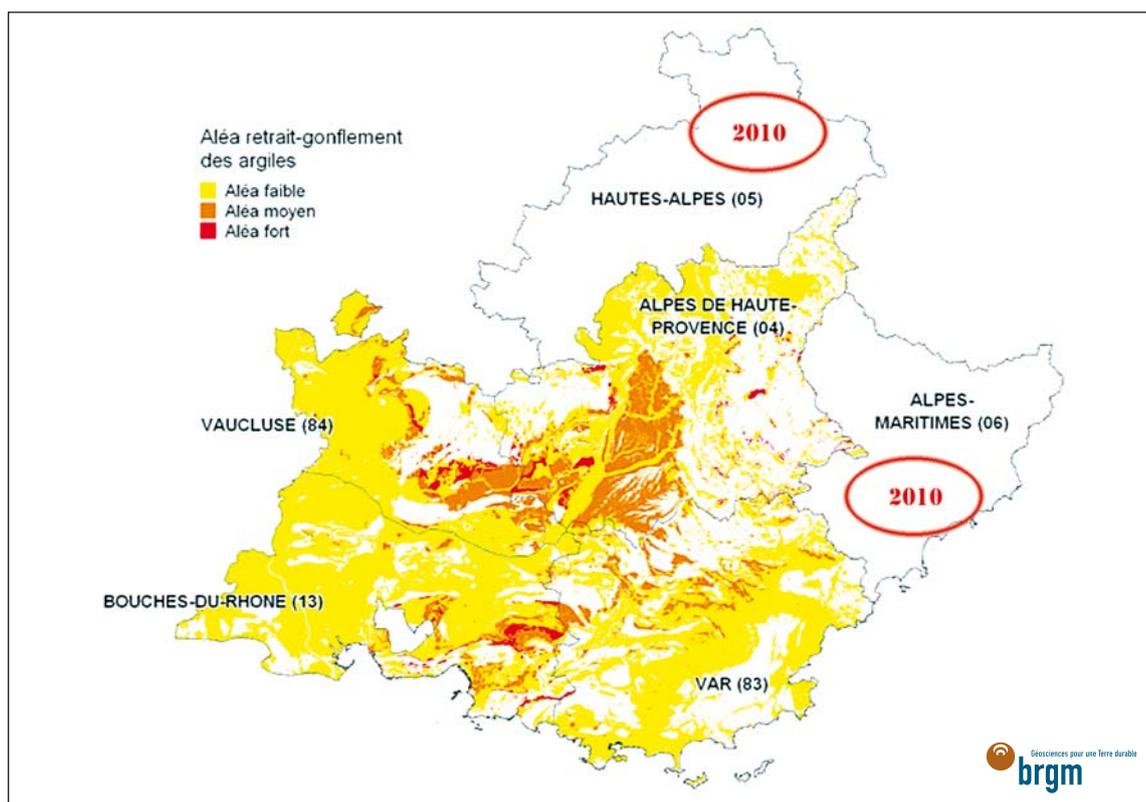


### 3. Cartographie de l'aléa

Le niveau d'aléa de chaque formation à composante argileuse résulte d'une combinaison de son niveau de susceptibilité et de la densité de sinistres observés à ce jour (4).



## État d'avancement de la cartographie en Provence-Alpes-Côte d'Azur



### Formations argileuses “remarquables”

Sur les 4 départements déjà cartographiés, les formations argileuses classées en aléa fort occupent environ 1,5 % de surface cumulée. Parmi les plus étendues, on peut citer :

- des formations à prédominance marneuse telles que les marnes de Viens, les marnes du Crétacé moyen (l'Aptien et Gargasien) affleurant principalement dans les Alpes de Haute-Provence ;
- des formations plus hétérogènes telles que les sables et argiles verts de Mormoiron, les argiles, marnes et grès du Crétacé supérieur qui affleurent dans le Vaucluse pour les premières, dans les Bouches-du-Rhône pour les secondes.

Les cartes et rapports sont consultables et téléchargeables sur [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr). L'échelle des cartes étant le 1/50 000<sup>e</sup>, l'information est indicative à l'échelle parcellaire. Seule une étude géotechnique centrée sur la parcelle peut permettre d'établir un diagnostic fiable et définitif quant à la nature exacte du sous-sol et de son exposition vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.

# Cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle d'un bassin de risque

Des cartographies d'aléa mouvements de terrain ont été réalisées sur deux bassins de risque de contextes différents : la vallée de la Roya (Alpes-Maritimes) et le bas Buëch-Laragnais (Hautes-Alpes). L'aléa a été cartographié dans un premier temps au 1/50 000<sup>e</sup> puis au 1/25 000<sup>e</sup> sur les secteurs où de forts enjeux ont été identifiés. Les premières cartes élaborées au 1/50 000<sup>e</sup>, en plus d'apporter une vision globale de l'aléa sur le bassin, ont permis de cibler les secteurs à étudier à une échelle plus précise.



**Méthode utilisée :** approche par expertise.

**Typologie :** cinq phénomènes ont été pris en compte : les glissements de terrain, les chutes de blocs et éboulements, les effondrements de cavités souterraines, les coulées de boue, le ravinement. Des subdivisions ont été faites pour les phénomènes de glissement et de chutes de blocs.

**Facteurs d'instabilité retenus pour estimer la probabilité d'occurrence :**

- la pente topographique (faible, moyenne, forte) ;
- la nature lithologique ;
- la compétence du matériau.

**Remarques :**

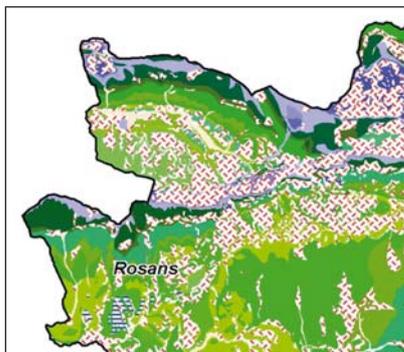
- l'aléa est hiérarchisé en trois classes ;
- les facteurs d'instabilité permanents ne sont pas pris en compte.

## 1. Inventaire des événements mouvements de terrain sur les zones d'étude et cartographie d'aléa au 1/50 000<sup>e</sup>

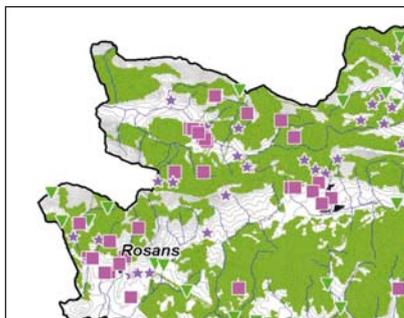


Source: BRGM

Typologie

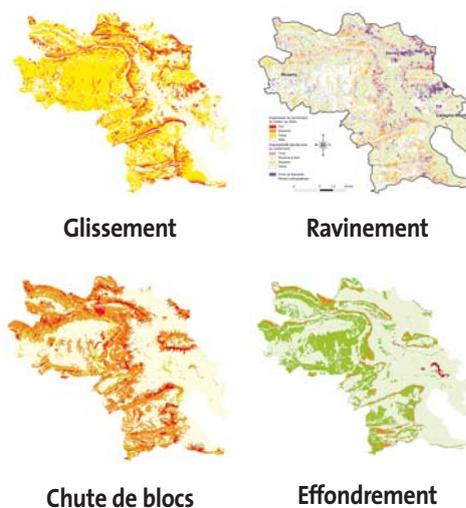


Carte géologique



Inventaire des événements

Cartes d'aléa au 1/50 000<sup>e</sup>



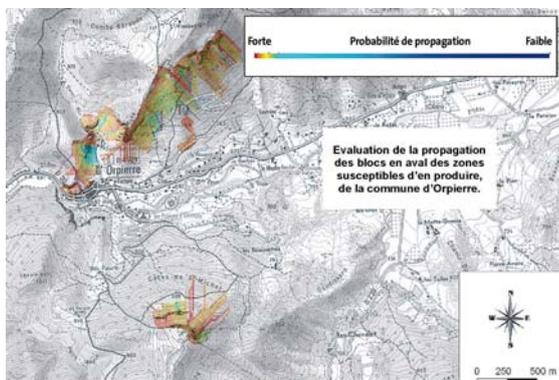
Les cartes d'aléa au 1/50 000<sup>e</sup> sont obtenues en combinant les données géologiques et stratigraphiques avec d'autres caractéristiques physiques : drains naturels, pente, falaises, et en évaluant des distances de propagation (notamment pour les chutes de blocs).

## 2. Cartographie au 1/25 000<sup>e</sup> sur les zones où des enjeux sont identifiés

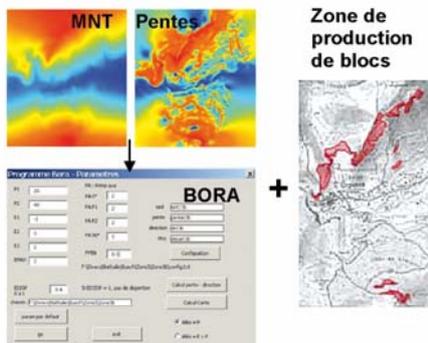
Dans la démarche générale, les méthodologies de cartographie au 1/25 000<sup>e</sup> et au 1/50 000<sup>e</sup> sont identiques. Dans le détail, la méthodologie du 1/25 000<sup>e</sup> évalue plus finement les facteurs de d'instabilité permanents [ER3] grâce à une expertise de terrain plus approfondie. Les zones de propagation des blocs susceptibles de s'ébouler sont étudiées à l'aide de logiciels .



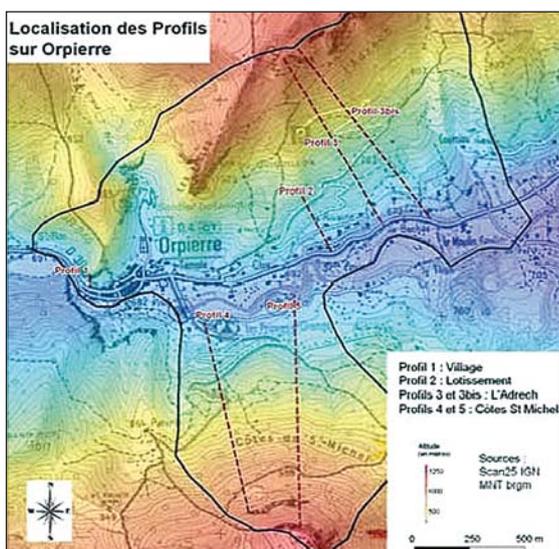
### Analyse des zones de propagation des blocs



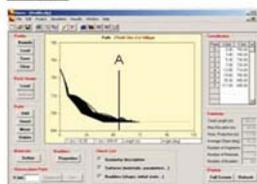
### Commune d'ORPIERRE



### Analyse des trajectoires de propagation des blocs



#### Profil 1

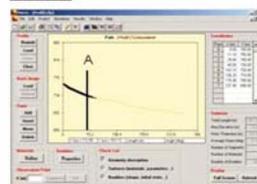


**Point d'observation Profil 1 :**  
A – Urbanisation (bâti + route) à 50 m  
Rebonds maximum à 16 m de hauteur



Profil 1

#### Profil 2



**Point d'observation Profil 2 :**  
A – Route lotissement à 50 m  
Rebonds maximum à 4.5 m de hauteur

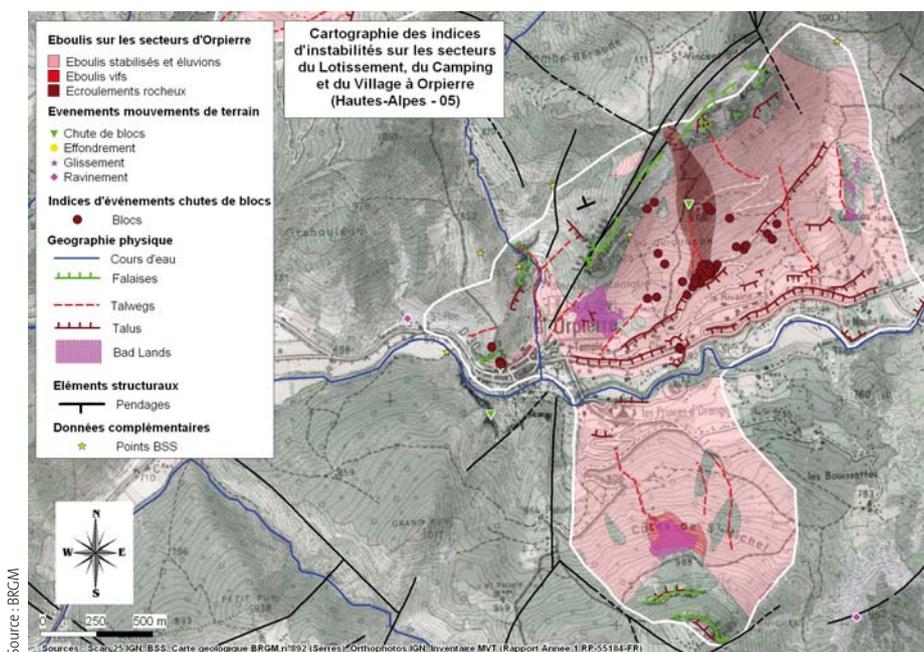


Profil 2, 3 et 3bis



En plus de la pente et de la lithologie [glossaire], la carte d'aléa au 1/25 000<sup>e</sup> tient compte des paramètres suivants :

- épaisseur des formations ;
- pentages [glossaire] ;
- indices d'instabilité (état de fracturation [glossaire] de la roche).



# Cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle communale / à l'échelle du tronçon routier

Sur le territoire communal, l'échelle d'étude varie en général entre le 1/5 000<sup>e</sup> et le 1/10 000<sup>e</sup>. Ces cartes sont le plus souvent à vocation réglementaire (PPR [PR6]), mais cette échelle peut également être utilisée pour améliorer le niveau de connaissances de l'aléa sur des communes où aucun PPR [PR6] n'est prescrit.

La démarche d'élaboration d'un PPR mouvements de terrain est définie dans un guide méthodologique réalisé par l'État (Guide méthodologique PPR mouvements de terrain, 1999.). C'est cette démarche qui est synthétisée ci-dessous.

## 1. Recensement et description des mouvements de terrain sur le territoire communal



Source : ONF – service RTM 05

Permet de réaliser la carte informative des mouvements de terrain

## 2. Qualification et cartographie des aléas :

- définition d'un aléa de référence ;
- délimitation des zones d'aléa ;
- estimation de l'occurrence des phénomènes ;
- qualification de l'aléa.

Permet de réaliser la carte d'aléa

## 3. Évaluation des enjeux :

- délimitation des espaces urbanisés ou urbanisables ;
- délimitation des infrastructures et moyens de services et secours ;
- délimitation des espaces non directement exposés au risque ( naturels, agricoles, forestiers, etc.).

Permet de réaliser la carte des enjeux

## 4. Zonage réglementaire :

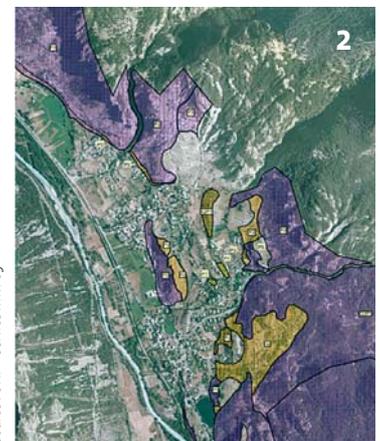
Trois types de zone sont identifiés :

- zones exposées (à un aléa majeur, fort, moyen ou faible) ;
- zones non directement exposées ;
- zones protégées ou stabilisées.

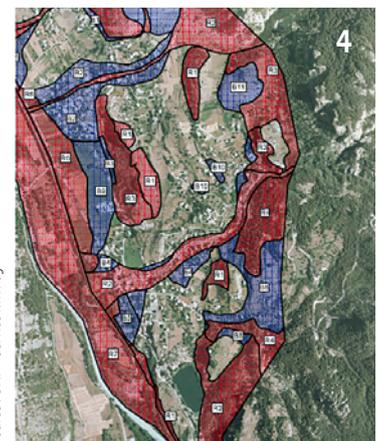
Permet de réaliser le zonage réglementaire



Source : ONF – service RTM 05



Source : ONF – service RTM 05



Source : ONF – service RTM 05

En rouge, zones d'interdiction, en bleu, zones de contraintes faibles

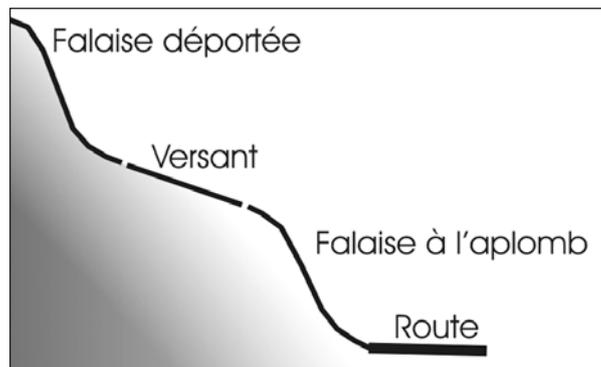
# Cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur le réseau routier :

## illustration dans le département des Alpes-Maritimes

Afin d'améliorer la protection contre les éboulements rocheux se produisant sur le réseau routier du département, la direction des routes du Conseil Général des Alpes-Maritimes réalise une cartographie de l'aléa lié à ces phénomènes (aléa falaise) sur l'ensemble du linéaire routier. Cette cartographie, basée sur la méthode développée par le LCPC [glossaire], permet de planifier les travaux de protection ou de réhabilitation à mettre en œuvre sur les tronçons particulièrement exposés à cet aléa.



L'ensemble du linéaire routier est visité sur le terrain. L'aléa est apprécié qualitativement à dire d'expert. Le géologue se déplace le long du linéaire routier et remplit une fiche descriptive de l'affleurement : falaise à l'aplomb de la route, versant et falaise déportée.



Quatre paramètres sont évalués (notés) :

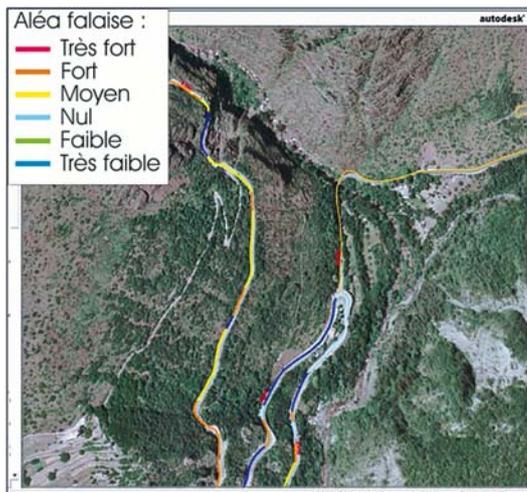
- probabilité de chute = probabilité de décrochement de pierres ou de blocs (fonction de la topographie, des discontinuités...);
- protections existantes : peuvent être passives ou actives. La protection peut être partielle ou totale ;
- indices morphologiques : signes apparents, témoins d'un événement passé (empreinte d'un bloc éboulé, discontinuités...);
- végétation défavorable : racines ouvrant les discontinuités.

Sur le versant, la présence de végétation est supposée favorable, elle va jouer un rôle protecteur vis-à-vis des chutes de blocs.

Les notes sont reprises dans un tableau de synthèse qui permet de déterminer l'aléa global affectant le tronçon routier.

L'aléa est ensuite visualisé sur fond cartographique. Une planification des travaux de protection des falaises est établie à partir de la carte. Actuellement, les cartes sur les routes principales et secondaires sont entièrement réalisées, la couverture des dessertes locales est en cours.

Source : Conseil Général des Alpes-Maritimes



Source : Conseil Général des Alpes-Maritimes





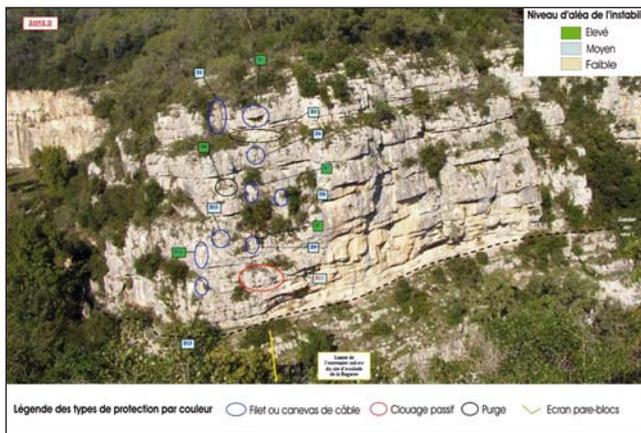
# Cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle d'un site

À cette échelle, l'objectif est de localiser les instabilités potentielles sur l'affleurement dans le but de définir des solutions de protection adaptées. À titre d'exemple, deux études de site traitant de l'aléa chute de blocs sont présentées.

## Diagnostic des instabilités rocheuses et définition de travaux sur la falaise de "La Bagarrée" (06)



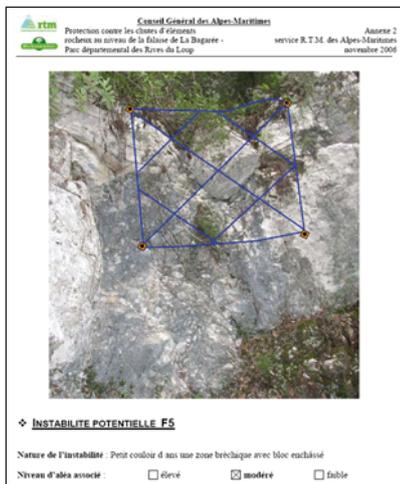
### 1. Observations sur site : identification des instabilités



Localisation et description de chaque instabilité observée sur l'affleurement.



### 2. Évaluation des niveaux d'aléas sur chaque instabilité



Élaboration d'une fiche descriptive pour chaque instabilité observée : caractéristiques géologiques et configuration rocheuse de l'instabilité, niveau d'aléa estimé.



### 3. Travaux préconisés

À partir des caractéristiques du site et des reconnaissances d'instabilité, préconisation de travaux de confortement et/ou d'ancrage pour chaque instabilité identifiée.



**Caractéristique du confortement :** purge + confortement par mise en place d'un filet de câble plaqué de 2,5 x 3 mètres, tendu par un câble de rive de diamètre 16 mm.

**Caractéristique des ancrages :**

Désignation	Quantité	Prof. des ancrages (m)	Linéaire total d'ancrage (m)
Boulons d'ancrage de Ø 20 mm	6	1,5	9
Filet de câble plaqué	8 m <sup>2</sup>		

Références : Protection contre les chutes d'éléments rocheux au niveau de la falaise de La Bagarrée - Parc départemental des Rives du Loup - ONF, service RTM des Alpes-Maritimes(2006)



# Proposition d'aménagements sur 4 sites (Istres, Carry-le-Rouet, Port-Cros, Eze) et caractérisation de l'érosion

Dans le cadre de l'étude du risque lié aux falaises côtières en Provence-Alpes-Côte d'Azur [ER6], certains sites ont été étudiés en détail afin de déterminer les paradés et aménagements à mettre en œuvre.



## 1. Plusieurs méthodes ont été utilisées pour déterminer l'aléa chutes de blocs de manière probabiliste, en comparant l'état des falaises à des dates différentes :

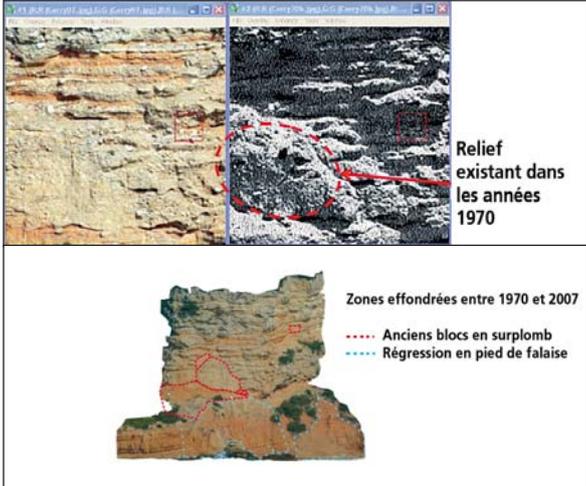
Comparaison photographique multitemporelle

Photo années 1970



Photo octobre 2007





Relief existant dans les années 1970

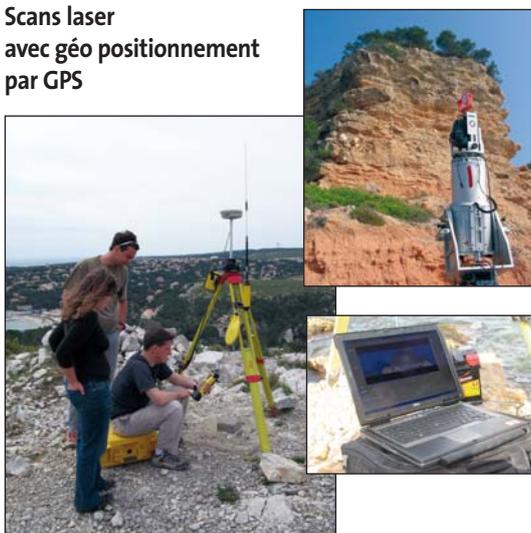
Zones effondrées entre 1970 et 2007

- Anciens blocs en surplomb
- Régression en pied de falaise

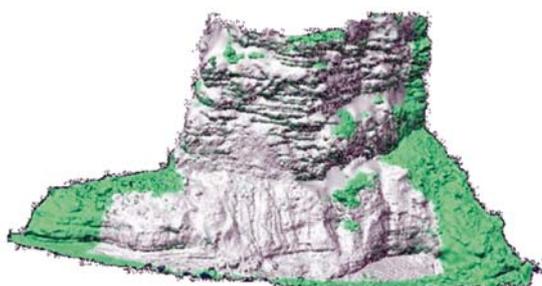
Source: BRGM  
Source: ATM 3D, BRGM



Scans laser avec géo positionnement par GPS



La technique scan laser permet d'obtenir un modèle numérique du relief de la falaise à très haute définition, ainsi qu'une ortho photo haute résolution (5 cm). La comparaison entre les 2 levés successifs permet de mesurer l'érosion (chutes de pierres et blocs) par l'observation des différences topographiques (précision centimétrique) et d'identifier les traces d'éboulements antérieurs.

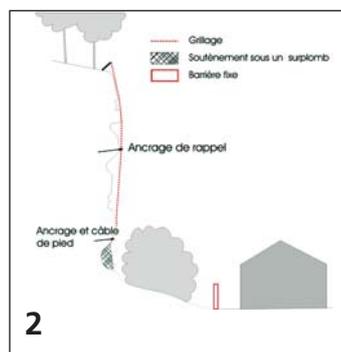
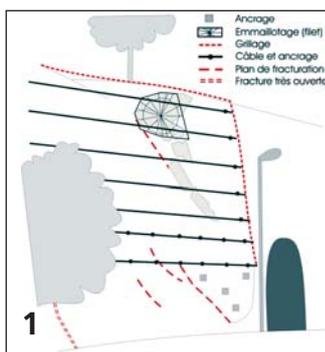


Source: ATM 3D, BRGM



## 2. Des solutions de protections ont été ensuite proposées :

Exemple de propositions de schémas d'aménagements sur les communes d'Eze (1) et d'Istres (2), pour lesquelles la pose d'un grillage plaqué (1) et d'un grillage suspendu (2) a été préconisée sur chacun des sites montrant un risque de chute de blocs avéré





# Échelle locale : méthodes de détection de cavités

Les cavités qu'elles soient d'origine naturelle (aven, karst gypseux [glossaire] ou calcaire) ou anthropiques (mines, carrières souterraines) peuvent occasionner des désordres en surface de type fontis [glossaire], effondrement, ou affaissement. Afin de prévenir ces désordres, il est primordial de détecter les cavités souterraines qui peuvent les générer. Trois types de moyens de recherche des cavités utilisant la géophysique sont présentés. Il s'agit des plus couramment utilisés mais l'ensemble des méthodes existantes est décrit dans un guide technique dédié [biblio].

## Méthodes Microgravimétriques



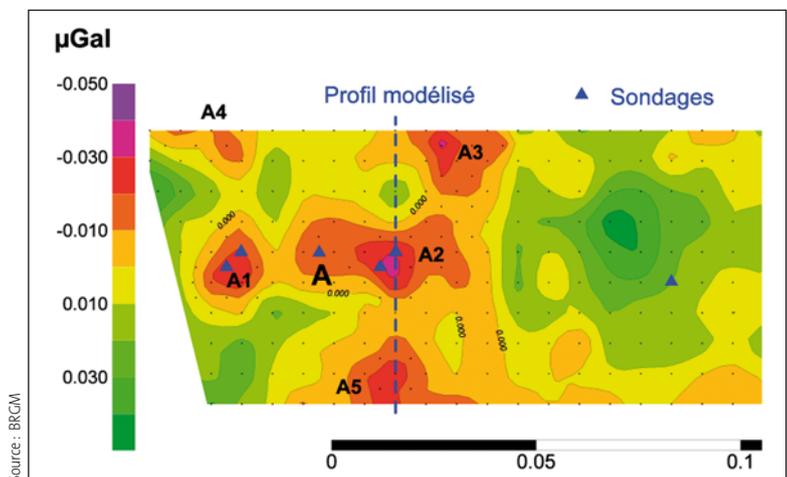
La microgravimétrie repose sur la mesure des valeurs relatives de la gravité à la surface du sol. Ces valeurs sont influencées par la répartition des densités dans le proche sous-sol. Les variations du champ de gravité sont couramment exprimées en microgal ( $\mu\text{gal}$ ) ( $1 \mu\text{gal} = 0,001 \text{ mgal}$  ;  $1 \text{ mgal} = 1 \text{ cm/s}^2$ ). Cette technique d'invention française, est couramment utilisée pour la détection des cavités depuis les années 1970.

### Carte d'identité :

- **Principe et paramètre mesuré**  
Mesure des variations du champ de pesanteur créées par la répartition des masses du sous-sol
- **Domaine d'application**  
Tous types de cavités, zones décomprimées
- **Profondeur d'investigation**  
Fonction de la taille, du contraste de densités et du niveau de bruit (généralement 15-30 m)
- **Limitations**  
Forte topographie, bâtiment, cuve enterrée, vibrations.

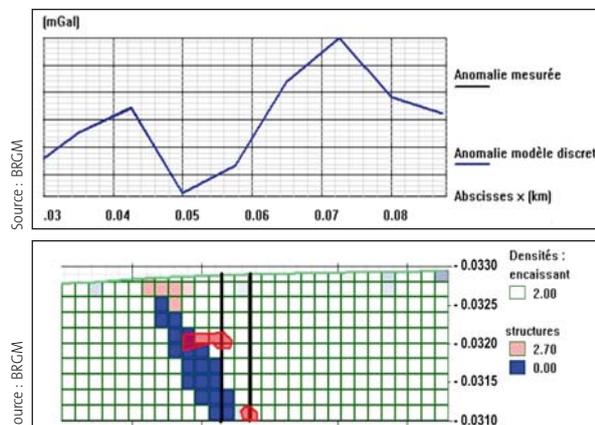
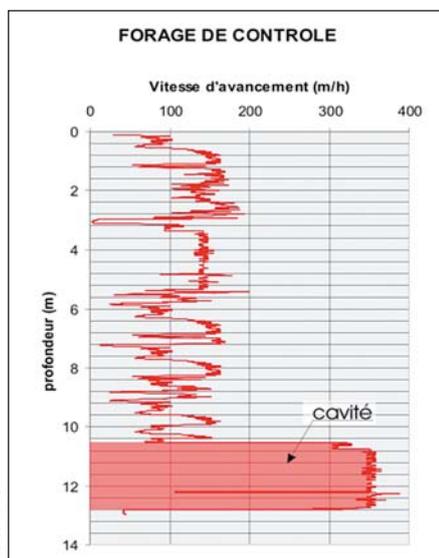


Les résultats sont présentés sous la forme d'une carte "d'anomalies gravimétriques". Les anomalies sont exprimées en  $\mu\text{Gal}$ .



Les anomalies dites "légères" (valeurs négatives sur les cartes) concernent des structures géologiques de faible densité (formations meubles, ou rocheuses altérées, ou présence de vides), par opposition aux anomalies dites "lourdes" (valeurs positives ou faiblement négatives sur les cartes) qui reflètent la présence de terrains relativement plus denses que les précédents (terrains non altérés ou non décomprimés).

Les mesures s'interprètent "en relatif", c'est à dire les unes par rapport aux autres, et non en absolu, d'où la nécessité de couvrir de mesures une surface qui excède celle des éventuels vides recherchés.



Variation de l'anomalie sur le profil modélisé (de bas en haut)

Les forages sont indiqués en noir et les vides recoupés en rouge.

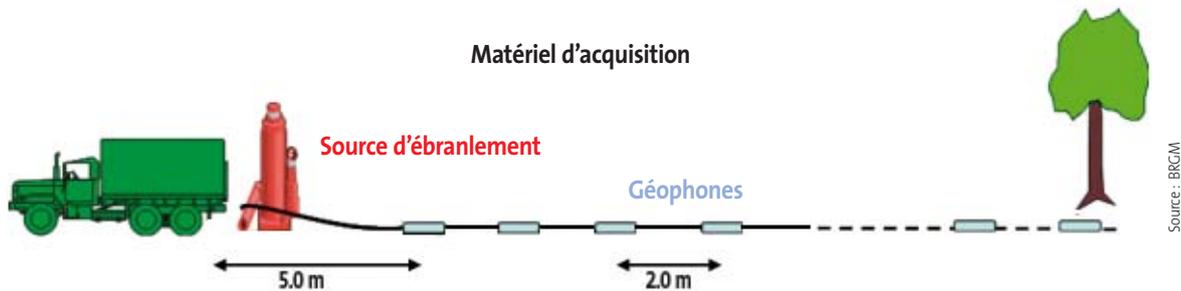
La nature des anomalies est ensuite contrôlée par des sondages.



## Méthodes sismiques

Les méthodes sismiques consistent à **provoquer des ébranlements dans le sous-sol** et à **observer en surface différents types d'ondes générées au cours de ces ébranlements**.

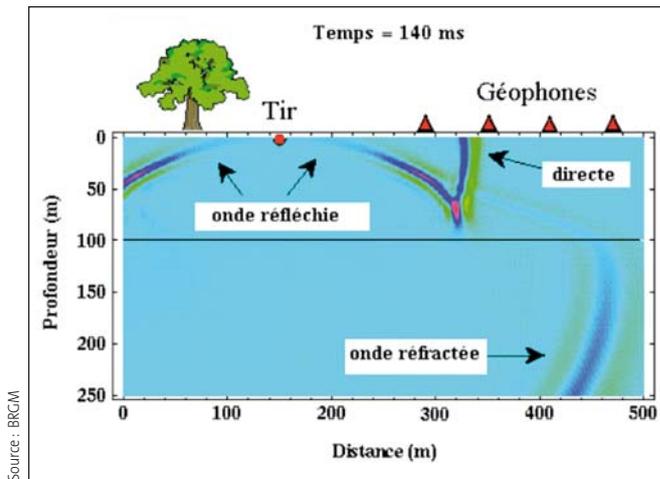
La présence d'une cavité dans le sous-sol peut, sous certaines conditions physiques, constituer un obstacle à la propagation des ondes et entraîner des modifications de certains paramètres (temps de trajet, amplitudes et formes des signaux, vitesses de propagation des ondes, etc.) qui serviront de révélateurs de sa présence.



Source : BRGM

### Carte d'identité :

- **Principe et paramètre mesuré**  
Étude de la propagation des ondes réfléchies et de la dispersion des ondes de surface.
- **Propriétés physiques**  
Vitesse et dispersion des ondes sismiques.
- **Domaine d'application**  
Détection de vides par effet de masquage, caractérisation des zones décomprimées.
- **Profondeur d'investigation**  
De l'ordre de 10-100 m si fréquence et dispositif adaptés.
- **Limitations**  
Trafic automobile et ferroviaire important, terrain de surface meuble, fortes variations latérales des structures superficielles.



Source : BRGM

L'application de ces méthodes à la détection des cavités, qu'il s'agisse de sismique réflexion haute résolution, ou d'analyse des ondes de surface reste encore limitée à **des études ayant un caractère de recherche**.

## Méthode électromagnétique : le Géoradar

Le **Géoradar** (radar géologique) est pratiqué de manière relativement routinière depuis une quinzaine d'années dans le domaine du génie civil. Cette méthode est fondée sur l'émission de brèves impulsions électromagnétiques de hautes fréquences (50 MHz à 2 GHz) qui se réfléchissent partiellement sur les interfaces entre milieux présentant des caractéristiques électriques différentes. Les échos produits sur ces interfaces sont enregistrés en fonction du temps au moyen d'une antenne réceptrice, puis exploités.

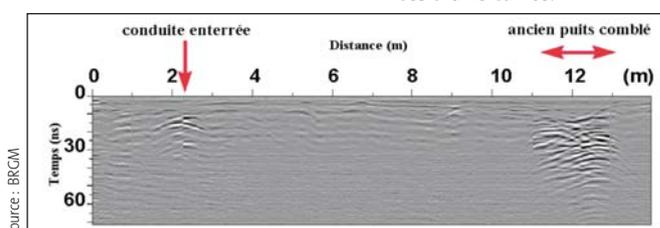
### Carte d'identité :

- **Principe et paramètre mesuré**  
Étude de la propagation des ondes électromagnétiques hautes fréquences (ondes radar 20 -2500 MHz).
- **Propriétés physiques**  
Permittivité.
- **Domaine d'application**  
Cavités, puits, descenderies.
- **Profondeur d'investigation**  
De l'ordre de 1- à 10 m, fonction de la résistivité des terrain et de la fréquence utilisée.
- **Limitations**  
Terrains de surface conducteurs, conduite métallique, réseaux téléphoniques et électriques.



**Acquisition du profil :** le radar est tracté par un véhicule ou à la main le long d'un tracé donné.

Exemple d'image radar du sous-sol montrant les détections d'une conduite enterrée et d'un ancien puits d'accès à une cavité.



Source : BRGM

# Axes d'étude sur l'évaluation du risque : vers une meilleure quantification de la vulnérabilité

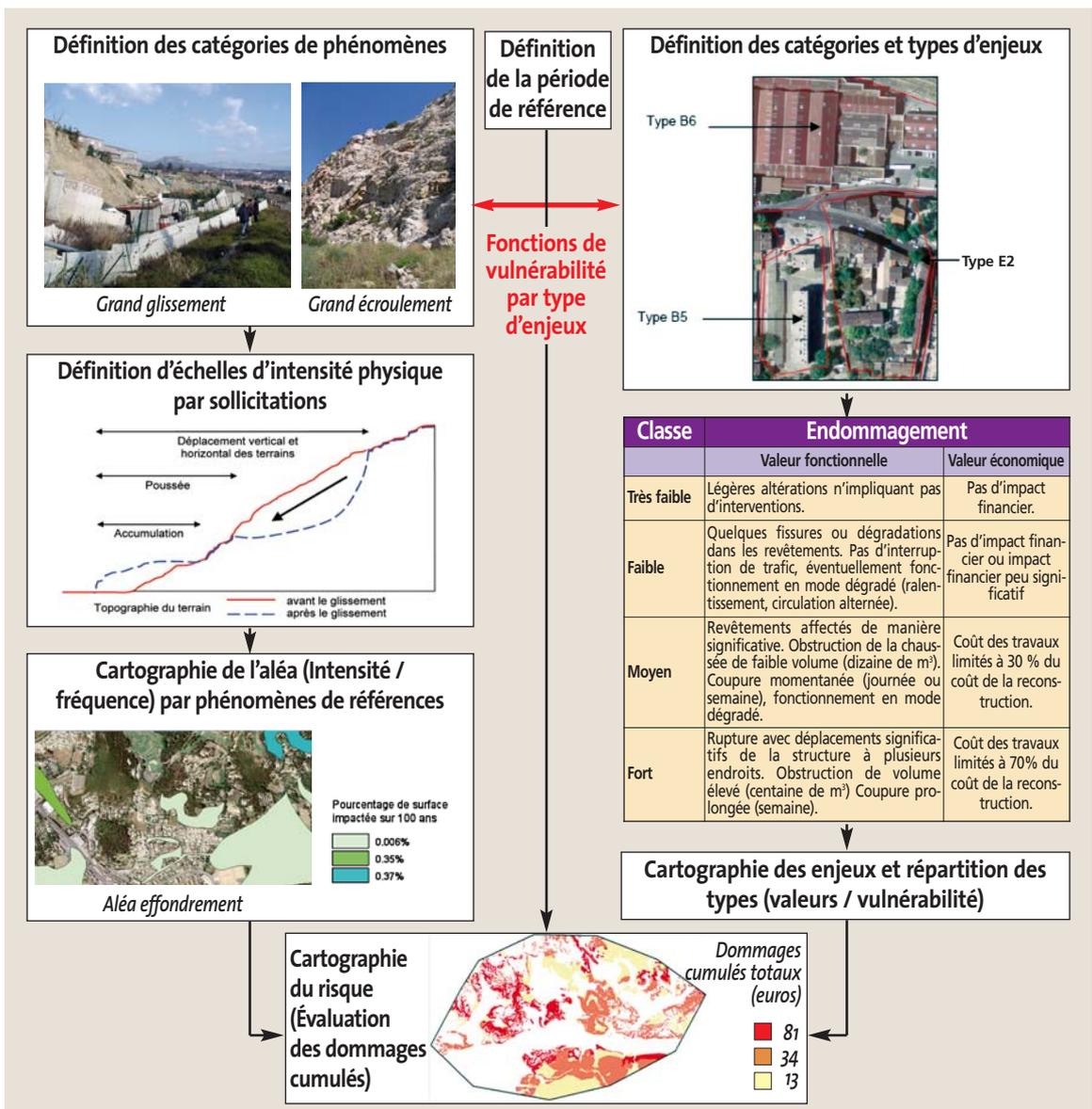
Deux projets récents, ont été menés en Provence-Alpes-Côte d'Azur pour améliorer la connaissance sur la vulnérabilité des enjeux vis-à-vis des mouvements de terrain.

Le premier, localisé sur la commune de Marseille, s'est attaché à définir des échelles de dommages potentiels causés par les mouvements de terrain, le second, localisé sur le littoral Provence-Alpes-Côte d'Azur, a cherché à estimer la perception du risque lié aux mouvements de terrain par la population.



## Scénario de risque mouvements de terrain en milieu urbain – Application à la ville de Marseille

Ce projet s'inscrit dans une étude globale de développement d'une méthodologie générique d'évaluation des risques liés aux mouvements de terrain dans les agglomérations urbaines. La ville de Marseille a été choisie pour tester et calibrer la méthode. En quantifiant l'aléa en termes d'intensité et de fréquence ainsi que les interactions existant entre les phénomènes et les enjeux exposés, la méthodologie proposée permet in fine d'exprimer dans une carte unique les dommages attendus sur les 100 prochaines années en euros / hectares tous phénomènes et tous enjeux confondus.



Références : Rapports sur [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr) : BRGM RP56243-FR - Thierry P. (2008)

## La compréhension de la perception d'un risque par la population est essentielle pour élaborer des méthodes de gestion du risque adaptées aux besoins sociaux.

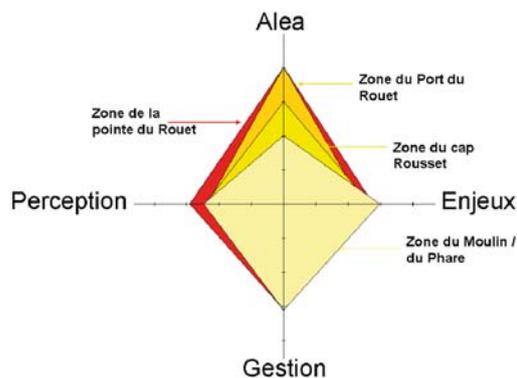
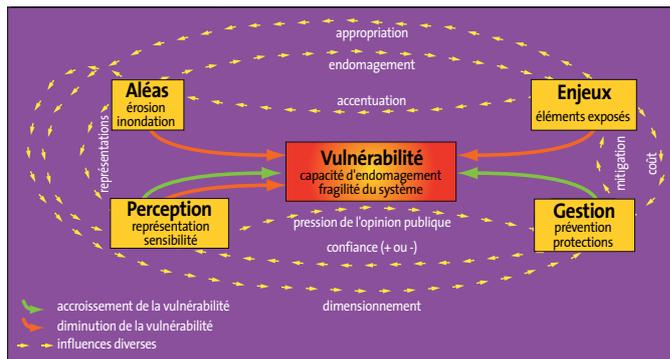
La perception du risque par la population est une des composantes de la vulnérabilité. Or, dans le cadre de l'évaluation des risques, cette partie est rarement étudiée.

Sur la commune de Carry-le-Rouet, une enquête de perception du risque a été réalisée auprès des usagers du littoral. Les résultats de cette enquête montrent que l'appropriation du littoral est différente selon les activités des usagers et le déni du risque est quotidien.

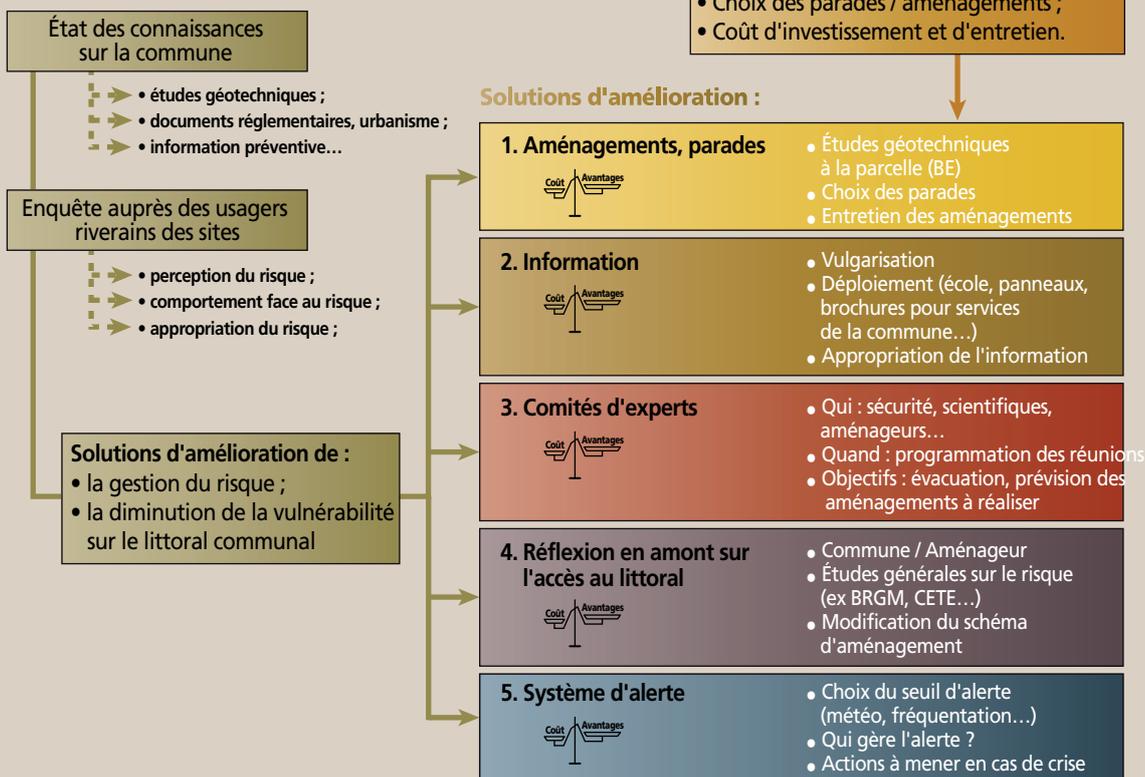
Ces résultats ont été intégrés dans l'analyse d'évaluation de la vulnérabilité en tant que composante du risque sur la commune de Carry-le-Rouet.

L'objectif final était de proposer une approche méthodologique de gestion du risque à l'échelle communale qui intègre cette analyse socio-économique notamment en termes de coût-avantage.

Une des conclusions est que l'évaluation du risque ne se limite pas à un volet, mais que tous les champs doivent être évalués : champs de l'aléa, enjeux et approche socio-économique du risque.



## Proposition d'une méthodologie globale de gestion du risque, à l'échelle d'une commune





# III La prévention du risque mouvements de terrain



PR.1



Les composantes de la prévention

PR.2



Les principales lois en matière  
de gestion des risques naturels

PR.3



L'information préventive du public

PR.4



Les acteurs de l'information préventive

PR.5



Les règles de construction dans les sols argileux  
soumis au retrait-gonflement

PR.6



Prise en compte du risque mouvements de terrain  
dans l'aménagement du territoire

PR.7



Surveillance et auscultation de site :  
principe et dispositifs de mesure

PR.8



Surveillance et auscultation de site : mesure de  
l'évolution des mouvements de terrain

PR.9



Surveillance et auscultation de sites :  
exemples en région

PR.10



Signal d'alerte  
et organisation des secours

PR.11



Le projet RIVES : gestion des secours dans le cas d'un  
mouvement de terrain transfrontalier (Bassin de l'Ubaye,  
Col de Larche, Val Sutra)



Résumé au verso ▶

# III La prévention du risque mouvements de terrain



La **prévention du risque mouvements de terrain** s'articule autour de 4 axes principaux : l'information et la formation, l'aménagement du territoire, l'application de normes de construction et l'amélioration des dispositifs de gestion de crise.

Le risque mouvements de terrain est un risque naturel. L'**information du citoyen** sur les risques naturels se fait au travers de documents, Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) [\[glossaire\]](#), Document d'Information Communale sur les Risques Majeurs [\[glossaire\]](#), ...) diffusés par le Maire ou le Préfet.



La réduction de la vulnérabilité des enjeux passe avant tout par la maîtrise de l'urbanisation, voire l'adaptation des constructions dans les zones à risque. Plusieurs outils peuvent être utilisés pour maîtriser l'occupation et l'usage du sol présents et futurs.

Les **règles de construction** concernent notamment le phénomène de retrait-gonflement des sols argileux. Leur application nécessite la sensibilisation et la formation des constructeurs.

La **surveillance des sites** permet de mieux comprendre les mécanismes des phénomènes et de mieux gérer le risque en permettant notamment de fixer des seuils d'alerte.



Les **dispositifs d'auscultation** des mouvements de terrain servent à suivre l'évolution du mouvement en mesurant son déplacement.

En cas de crise, selon l'ampleur de la catastrophe, **le signal d'alerte est lancé par le Maire ou le Préfet**, chargés d'organiser et de coordonner les secours. Le dispositif ORSEC [\[glossaire\]](#) et le Plan Communal de Sauvegarde [\[glossaire\]](#) permettent d'organiser et de préparer les secours. La population doit connaître les précautions minimales à prendre avant, pendant et après un mouvement de terrain. Cette information se fait grâce aux documents édités par le Maire ou le Préfet.



Les **exercices de protection civile** comme celui réalisé en 2007 à la Rochaille (Alpes de Haute-Provence) dans le cadre du projet européen RIVES permettent de tester les dispositifs de gestion de crise et de les améliorer suite au retour d'expérience.



# Les composantes de la prévention

De façon générale, la prévention du risque consiste à “anticiper” les problèmes avant qu’ils ne se posent en termes de catastrophes, et diminuer ainsi le risque.

Afin de réduire les conséquences d’une crise, la prévention des risques permet d’une part de réduire le risque et d’autre part d’augmenter la capacité de la société à faire face à la crise.

Les 4 principaux axes de la prévention du risque mouvements de terrain sont : l’information et la formation, l’aménagement du territoire, la mise en place des outils de surveillance et d’alerte, et l’amélioration des dispositifs de gestion de crise.

## Information - Formation

La population d’une zone à risque doit être informée du risque qu’elle encourt et doit pouvoir acquérir les réflexes simples pour réduire sa vulnérabilité.



Les élus doivent connaître le risque mouvements de terrain sur leur territoire afin de garantir la sécurité des personnes et des biens.

## Aménagement du territoire

Il s’agit d’orienter les aménagements et d’occuper les sols en tenant compte du risque mouvements de terrain. Par exemple, les plans de prévention des risques (PPR) [PR6], définissent le risque au niveau communal et établissent des restrictions réglementaires. Il peut s’agir aussi de réduire le risque en réalisant des parades ou en appliquant des normes de construction.



## Prévention du risque mouvements de terrain

## Organiser les secours et la gestion de crise

La bonne organisation des secours est essentielle dans la gestion de crise. Des exercices grandeur nature peuvent permettre de tester l’organisation des secours.

L’établissement des PCS [glossaire] permet d’organiser la réponse communale face à la crise.

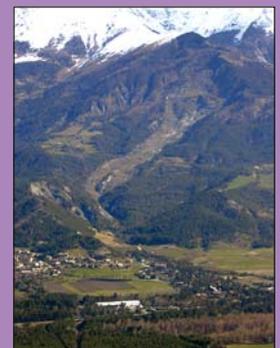


© Région Provence - Alpes - Côte d'Azur

## Mettre en place des outils de prévision, de surveillance et d’alerte

La prévision d’un phénomène naturel permet d’anticiper la crise qu’il peut potentiellement engendrer. La bonne organisation de l’alerte permet d’enrayer la crise ou d’en diminuer les conséquences.

L’instrumentation des grands glissements de terrain permet par exemple d’alerter la population en cas d’accélération du mouvement et de danger immédiat.

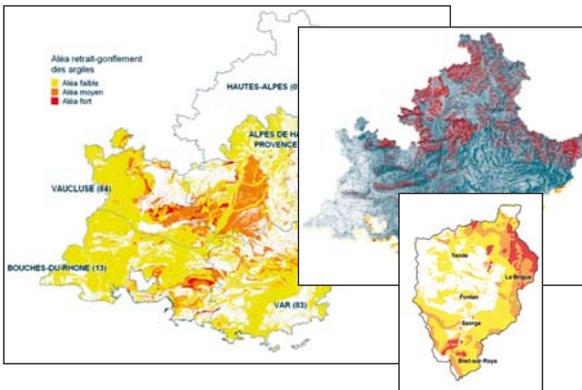


Source : ONF - Service RTM04

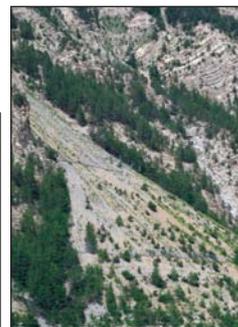
## Les mesures prises dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Analyse des événements historiques (Bases de données, inventaires, etc.).

Réalisation de nombreuses études scientifiques portant sur la connaissance des aléas, l'évaluation de la vulnérabilité des enjeux.

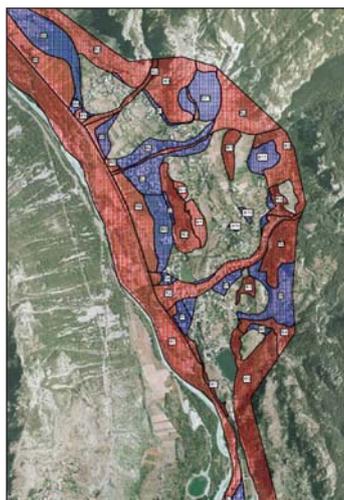
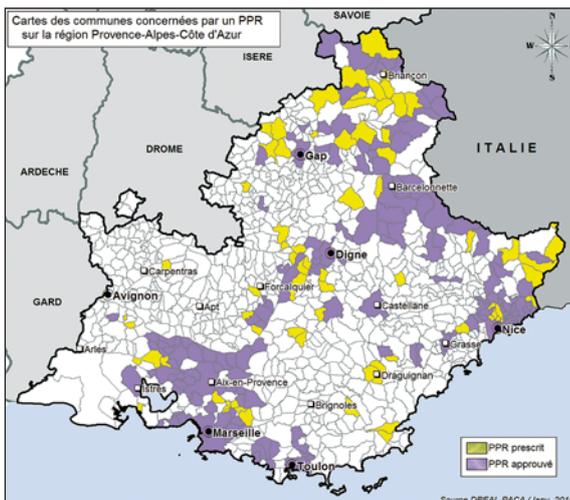


## Surveillance et auscultation de grands mouvements de terrain



Source : CETE Méditerranée

## Zonage réglementaire



Source : ONF - service RTM 05

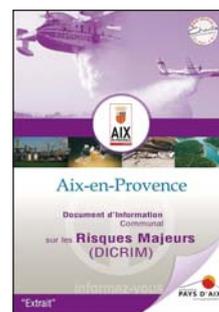
## Information et formation des citoyens



Pour chacun des 6 départements, un Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) [PR3] est consultable en Préfecture ou en Mairie et souvent aussi via internet.

La Préfecture établit pour chaque commune de son département soumise à un risque, un porté à connaissance (PAC) sur les risques. Le Maire utilise le PAC pour rédiger le DICRIM de la commune.

Le Maire réalise un Document d'Information Communal des Risques Majeurs (DICRIM) [PR3]



## Organisation des secours

- Au niveau de chaque commune : plan communal de sauvegarde, obligatoire dans certaines communes, recommandé pour d'autres.
- Au niveau de chaque département : plan O.R.S.E.C. [PR9]





# Les principales lois en matière de gestion des risques naturels

En France la législation relative à la politique de prévention des risques naturels s'articule autour de 6 textes de lois.

## LOI N°82-600 DU 13 JUILLET 1982

*“Art. 1<sup>er</sup> – Les contrats d’assurance, souscrits par toute personne physique ou morale autre que l’État et garantissant les dommages d’incendie ou tous autres dommages à des biens situés en France, [...] ouvrent droit à la garantie de l’assuré contre les effets des catastrophes naturelles sur les biens faisant l’objet de tels contrats”...*

## Loi relative à l’indemnisation des victimes de catastrophes naturelles.

Elle impose aux assurances d’indemniser les victimes de catastrophes naturelles, l’état de catastrophe naturelle étant reconnu par un arrêté interministériel. L’État a en charge d’élaborer les Plans d’Exposition aux Risques (PER) qui cartographient les zones exposées ou non. Dans les zones reconnues comme exposées par le PER, les assurances ne sont pas tenues d’indemniser les victimes. Les PER ont été remplacés par les PPR (cf. loi Barnier).



## LOI N°87-565 DU 22 JUILLET 1987

*“Art. 1<sup>er</sup> – La sécurité civile a pour objet la prévention des risques de toute nature ainsi que la protection des personnes, des biens et de l’environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes. La préparation des mesures de sauvegarde et la mise en œuvre des moyens nécessaires pour faire face aux risques majeurs et aux catastrophes sont assurées dans les conditions prévues par le présent titre. Elles sont déterminées dans le cadre de plans d’organisation des secours dénommés Plans Orsec et de Plans d’urgence”...*

## Loi relative à l’organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l’incendie et à la prévention des risques majeurs.

Elle fixe l’organisation de la sécurité civile en France en déterminant qui gère les secours, qui déclenche le plan O.R.S.E.C. [PR9], qui paye, quels sont les plans d’urgence. Dans le domaine de la prévention, cette loi reconnaît le droit à l’information préventive du public.



## LOI N°95-101 DU 2 JUILLET 1995 (LOI BARNIER)

*“Art. 1<sup>er</sup> – Les espaces, ressources et milieux naturels, les sites et paysages, les espèces animales et végétales, la diversité et les équilibres biologiques auxquels ils participent font partie du patrimoine commun de la nation”...*

## Loi relative au renforcement de la protection de l’environnement.

Elle reconnaît à l’État le droit d’expropriation dans le cas où les moyens de protection de la population sont plus coûteux que les indemnités d’expropriation. Un fond de prévention des risques, alimenté par des prélèvements sur les assureurs, est créé pour payer les indemnités d’expropriation et les démolitions. Cette loi crée les Plans de Prévention des Risques (PPR) en remplacement des PER de la loi de 1982.



### LOI N°96-393 DU 13 MAI 1996

*“Art. 1<sup>er</sup>. – Il n’y a de crime ou de délit sans intention de le commettre. Toutefois, lorsque la loi le prévoit, il y a délit en cas de mise en danger délibérée de la personne d’autrui”...*

### Loi relative à la responsabilité pénale pour des faits d'imprudance ou de négligence.

Elle reconnaît la responsabilité pénale des élus pour des faits d'imprudance, de négligence ou de manquement à une obligation de prudence ou de sécurité prévue par la loi ou les règlements.



### LOI N°2003-699 DU 30 JUILLET 2003

*“Art. L.125-5 – I. – Les acquéreurs ou locataires de biens immobiliers situés dans des zones couvertes par un plan de prévention des risques technologiques ou par un plan de prévention des risques naturels prévisibles, prescrit ou approuvé, ou dans des zones de sismicité définies par décret en Conseil d'État, sont informés par le vendeur ou le bailleur de l'existence des risques visés par ce plan ou ce décret”...*

### Loi relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages.

Elle insiste sur le devoir d'information des Maires. Ce texte encadre les pratiques agricoles et instaure des règles concernant le foncier aux abords des rivières, autorisant par exemple la suppression des éléments aggravant le risque. Conformément à cette loi, un vendeur ou un loueur doit remettre à son client un état des lieux des risques naturels ou technologiques (document d'Information Acquéreur Locataire IAL).



### LOI N°2004-811 DU 13 AOÛT 2004

*“Art. 1<sup>er</sup>. – La sécurité civile a pour objet la prévention des risques de toute nature, l'information et l'alerte des populations ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes par la préparation et la mise en œuvre de mesures et de moyens appropriés relevant de l'État, des collectivités territoriales et des autres personnes publiques ou privées”...*

### Loi relative à la modernisation de la sécurité civile.

Elle modernise la loi de 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile. Elle précise les responsabilités de l'État en matière de planification, de conduite opérationnelle et de prise en charge des secours. Elle impose à toutes les communes disposant d'un PPR de réaliser un Plan Communal de Sauvegarde. Elle modifie le statut des Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS) et les conditions d'emploi des Sapeurs Pompiers. Elle place le citoyen en tant que premier acteur de sa sécurité qui doit être capable de s'intégrer dans l'organisation collective de la crise.





# L'information préventive du public

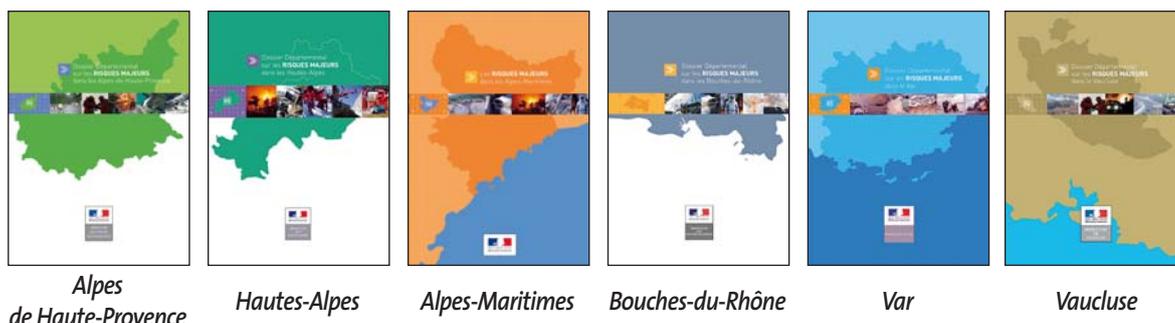
*L'information préventive est due aux citoyens dans le cadre d'une bonne gestion des risques naturels et technologiques majeurs. C'est un droit codifié notamment dans les articles L 125-2, L 125-5 et L 563-3 du code de l'environnement.*

Elle doit permettre au citoyen de connaître les dangers auxquels il est exposé, les dommages prévisibles, les mesures préventives qu'il peut prendre pour réduire sa vulnérabilité ainsi que les moyens de protection et de secours mis en œuvre par les pouvoirs publics. C'est une condition essentielle pour qu'il acquière un comportement responsable face au risque.



Par ailleurs, l'information préventive contribue à construire une mémoire collective et à assurer le maintien des dispositifs collectifs d'aide et de réparation. Elle concerne trois niveaux de responsabilité : le Préfet, le Maire et le propriétaire en tant que gestionnaire, vendeur ou bailleur.

Dans chaque département le Préfet doit mettre à jour le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM), arrêter annuellement la liste des communes relevant de l'article 2 du décret 90- ainsi que sa diffusion sur Internet et le cas échéant, élaborer en liaison avec l'exploitant d'Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE), les documents d'information des populations comprises dans la zone d'application d'un plan particulier d'intervention.



Sur la base des connaissances disponibles, le DDRM présente les phénomènes et leurs conséquences prévisibles. Il souligne l'importance des enjeux exposés, mentionne les mesures de prévention, de protection et sauvegarde et décrit les modes de réduction de la vulnérabilité des enjeux. Il le fait pour l'ensemble des risques naturels ou technologiques qui peuvent affecter indifféremment toutes les communes du département.

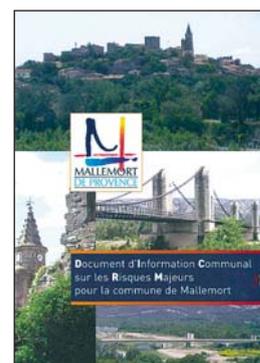
Le DDRM mentionne l'historique des événements et des accidents qui peuvent constituer une mémoire du risque et récapitule les différentes études, sites Internet ou documents de référence qui peuvent être consultés pour une complète information.



Le DDRM doit être, d'une part mis à jour en tant que de besoin et dans un délai qui ne peut excéder cinq ans et d'autre part, disponible à la préfecture et à la mairie des communes visées. Il doit être disponible en sous-préfecture et mis en ligne sur Internet.



Au niveau communal, le Maire doit établir le document d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM) en complétant les informations transmises par le Préfet par le rappel des mesures convenables qu'il aura définies au titre de ses pouvoirs de police, des actions de prévention, de protection ou de sauvegarde intéressant la commune, des événements et accidents significatifs à l'échelle de la commune et éventuellement, des règles d'urbanisme dans le cadre du plan local d'urbanisme.

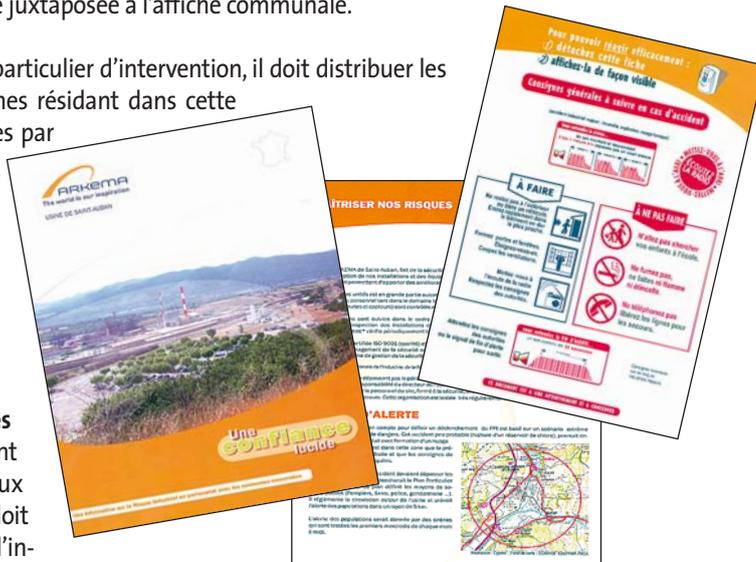


En plus de l'élaboration du DICRIM, le Maire doit arrêter les modalités d'affichage des risques et consignes. Une affiche particulière reprenant les consignes spécifiques définies par la personne responsable, propriétaire ou exploitant des locaux et terrains concernés, peut être juxtaposée à l'affiche communale.

Dans la zone d'application d'un plan particulier d'intervention, il doit distribuer les brochures d'information aux personnes résidant dans cette zone ou susceptibles d'y être affectées par une situation d'urgence.

La mise à disposition du DICRIM voire du DDRM en mairie fait l'objet d'un avis affiché pendant une période minimale de deux mois.

- **En présence de cavités souterraines ou de marnières** dont l'effondrement est susceptible de porter atteinte aux personnes ou aux biens, le Maire doit en dresser la carte communale et l'inclure dans le DICRIM.



- **Dans les communes où un PPR a été prescrit ou approuvé**, le Maire doit réaliser tous les deux ans une information de ses administrés, par des réunions publiques communales ou tout autre moyen à sa disposition.
- **Lors des transactions immobilières**, chaque vendeur ou bailleur d'un bien immobilier situé dans une zone à risque dans les communes dont la liste est arrêtée par le Préfet en application de l'article L 125-5 du code de l'environnement, doit établir un état des risques de moins de 6 mois avant la date de conclusion du contrat de vente ou de location. Pour réaliser cet état des risques, il se réfère aux documents consultables à la mairie du lieu où se trouve le bien. Par ailleurs, les sinistres subis par le bien ayant donné lieu à indemnisation au titre des effets d'une catastrophe naturelle pendant la période où le vendeur ou le bailleur a été propriétaire ou dont il a été lui-même informé devra être annexé au contrat.

L'information préventive ne se résume pas aux actions de type réglementaire mais va bien au-delà en utilisant l'ensemble des canaux disponibles d'internet au tissu associatif versé dans l'éducation au développement durable en général et aux risques en particulier. Le but à viser est de permettre au citoyen une meilleure appropriation de la culture et de la mémoire du risque. Les actions telles que la production des classeurs didactiques sur les risques (risque sismique, risques naturels et risque mouvements de terrain) en illustrent parfaitement cette finalité.

Par ailleurs, le MEEDDM collabore avec le ministère chargé de l'éducation nationale à la généralisation d'une éducation préventive tout au long de la formation scolaire et à la production d'outils pédagogiques à l'attention des enseignants.

**La prévention commence par l'information comme le soulignait l'Organisation des Nations Unies à l'occasion de la journée internationale de prévention des catastrophes en Octobre 1998.**

L'information préventive sur les risques naturels est mise à disposition du public via le site [www.prim.net](http://www.prim.net) du MEEDDM. Ce site rassemble l'ensemble des dossiers relatifs à chaque risque mais également des informations pratiques de niveau communal.

En complément, un site permettant d'accéder aux cartes dédiées aux risques majeurs (via un système d'information géographique) est également consultable : cartorisque à l'adresse <http://cartorisque.prim.net/>. Ce site a pour but de mettre à la disposition des habitants mais aussi de l'ensemble des professions concernées (assureurs, notaires, aménageurs...) l'ensemble des cartes sur les risques naturels et technologiques majeurs (y compris les PPR).





# Les acteurs de l'information préventive

*“Les citoyens ont un droit à l'information sur les risques majeurs auxquels ils sont soumis...”*, extrait de l'article 125-2 du code de l'environnement. Cette obligation se concrétise au travers des rôles de chacun. Toutefois c'est l'information du citoyen qui est le but à atteindre dans l'ensemble du dispositif d'Information Préventive. Cette information concerne l'ensemble des risques, naturels et technologiques.



## LE CITOYEN

Il doit devenir l'acteur majeur de sa propre sécurité. Pour ce faire il est nécessaire qu'il soit le mieux informé possible. Cette information lui permettra d'évaluer sa vulnérabilité et de juger des mesures les plus adaptées à sa situation.

<p><b>Pourquoi ?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acquérir la conscience du risque,</li> <li>• Anticiper (réduction de la vulnérabilité et mise en œuvre du plan familial de mise en sécurité).</li> </ul>	<p><b>Sur quoi ?</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Phénomène - accidents possibles,</li> <li>• Types d'alerte,</li> <li>• Consignes.</li> </ul>
<p><b>Auprès de qui ?</b></p> <p>Mairie - services de l'État &amp; Préfecture.</p>	<p><b>Quand ?</b></p> <p>De manière continue.</p>



Au centre de ce dispositif visant le Citoyen est placée l'information des acquéreurs et des locataires sur les risques (IAL, article L125-5 du Code de l'Environnement).

### 2 objectifs

<p><b>Entretenir la mémoire du risque</b></p> <p><b>Comment ?</b></p> <p>En demandant au vendeur, lors de chaque transaction immobilière, que soit fourni la liste des sinistres ayant fait l'objet d'indemnisation au titre des Catastrophes Naturelles.</p> <p><b>Sur quelle base ?</b></p> <p>Liste des Déclarations <b>CAT-NAT</b> contenue dans le <b>Document Communal d'Information sur les Risques</b> (DCI) disponible en mairie sous-préfecture et préfecture.</p> <p><b>Quel Support ?</b></p> <p>Papier libre.</p>	<p><b>Développer la culture du risque</b></p> <p><b>Comment ?</b></p> <p>En demandant au vendeur, lors de chaque transaction immobilière, que soit renseigné l'état des risques faisant l'objet d'un PPR prescrit, approuvé ou appliqué par anticipation <b>ou lorsque le bien vendu est situé dans une zone de sismicité la à III.</b></p> <p><b>Sur quelle base ?</b></p> <p>Informations contenues dans le DCI disponible en mairie sous-préfecture et préfecture.</p> <p><b>Quel Support ?</b></p> <p>Imprimé "État des Risques".</p>
--	---

La lecture du DDRM (voir rôle de l'État ci-après) et du DICRIM (rôle du maire) ainsi que les obligations définies ci-dessus doivent l'inciter à s'informer d'avantage sur les risques et notamment au travers du PPR qui peut prescrire des mesures de réduction de la vulnérabilité. [PR5]

Il peut également consulter les sites suivants :  
[http://www.prim.net/citoyen/definition\\_risque\\_majeur/definition.html](http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/definition.html)  
[http://www.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id\\_rubrique=28](http://www.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=28)



## LE MAIRE

Assure le lien entre l'information produite et le citoyen au travers des actions suivantes :

### Si un Plan de Prévention des Risques (PPR) est prescrit ou approuvé

#### Quoi ?

Information du Public sur les risques visés par le PPR.

#### Comment ?

Par des réunions publiques ou tout autre moyen adapté.

#### Quand ?

En tant que de besoins et *a minima* tous les deux ans.

### Dossier d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)

#### Comment ?

En reprenant les éléments du Porté à Connaissance sur les Risques (PAC-Risques), complétés par :

- des mesures de prévention de protection et de sauvegarde,
- des événements significatifs,
- des règles d'urbanisme (PLU).

#### Pour qui ?

Le citoyen.

Par ailleurs, le Maire doit établir l'Inventaire des Cavités souterraines (via notamment les informations fournies par les habitants).

### Met à disposition du citoyen le Dossier Communal d'Information sur les risques (DCI) au titre de l'IAL (art L125-5 du code de l'environnement)

## L'ÉTAT

Fournit l'information de base. Celle-ci se concrétise à travers deux documents :

### Le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM)

#### Pour qui ?

Le Maire et le citoyen.

#### Contenu ?

- Définition des risques,
- Ensemble des risques touchant le département,
- Mesures de prévention et de sauvegarde,
- Etc.

#### But ?

Information générale de niveau départemental.

#### Où ?

Préfectures & mairies (disponibilité en cours sur Internet).

### Le PAC-Risques

(remplace l'ancien Dossier Communal Synthétique, DCS, sur les risques)

#### Pour qui ?

Le Maire.

#### Contenu ?

- Servitudes,
- Cartographies d'aléa et documents réglementaires,
- Arrêtés Cat-Nat,
- Modèle d'affiche,
- Principaux événements.

#### But ?

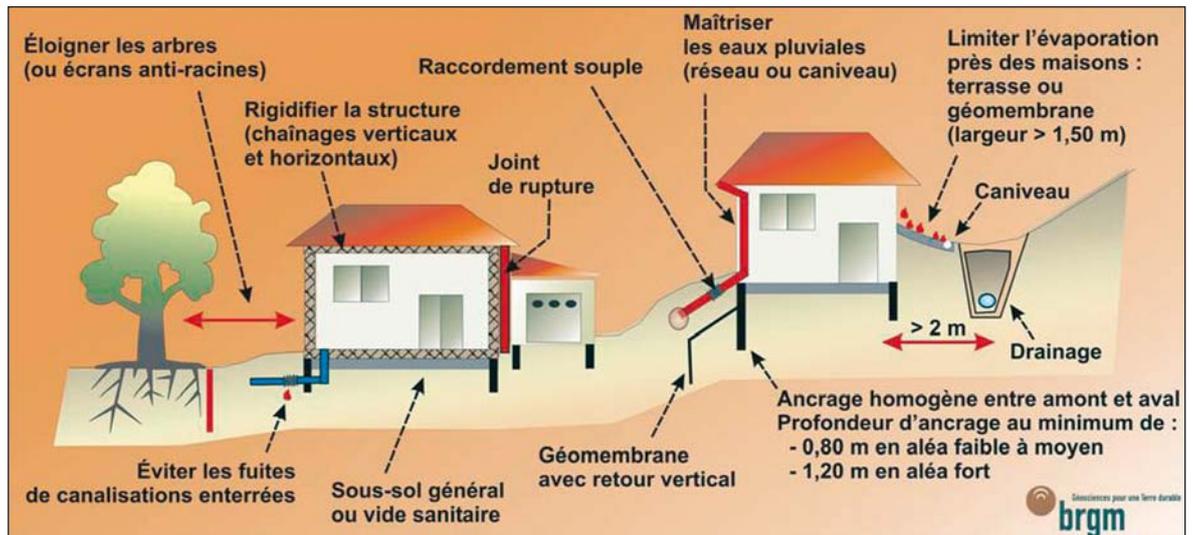
Permettre au Maire d'établir le DICRIM.

### Élabore le Dossier Communal d'Information sur les risques (DCI)

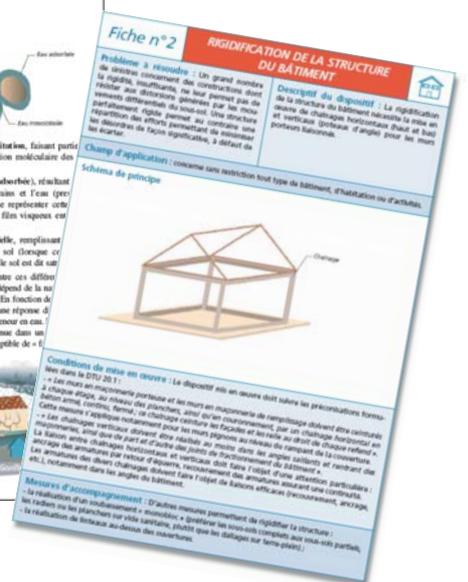


# Les règles de construction dans les sols argileux soumis au retrait-gonflement

Les dispositions préventives généralement prescrites pour construire sur un sol argileux sujet au phénomène de retrait-gonflement [PM5] obéissent aux quelques principes suivants, sachant que leur mise en application peut se faire selon plusieurs techniques différentes dont le choix reste de la responsabilité du constructeur. Ces règles permettent de réduire l'ampleur du phénomène et de limiter ses conséquences sur le projet en adaptant celui-ci au site. Elles sont obligatoires en cas de PPR sécheresse.



Pour plus d'informations sur les mesures de prévention à adopter pour construire sur sol sujet au retrait-gonflement, un dossier spécifique a été réalisé par le ministère en charge de l'environnement. Il contient notamment des fiches détaillées décrivant les mesures à prendre pour limiter les dommages sur le bâti existant ou les constructions futures de maisons individuelles.



Document téléchargeable sur le site du ministère à l'adresse suivante :

[http://catalogue.prim.net/63\\_tassements-differentiels\\_.html](http://catalogue.prim.net/63_tassements-differentiels_.html)

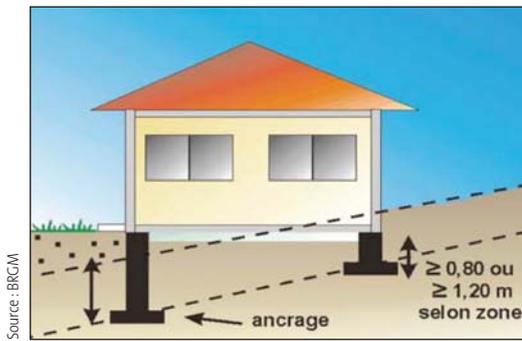
Pour plus d'info : [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)

# Principales règles de construction préconisées pour construire sur un sol argileux sujet au phénomène de retrait-gonflement



## Identifier la nature du sol

- Dans les zones identifiées sur les cartes départementales d'aléa comme potentiellement sensibles au phénomène de retrait-gonflement, il est vivement conseillé de faire procéder, par un bureau d'étude spécialisé, à une reconnaissance de sol avant construction. Une telle étude doit vérifier la nature et la géométrie des formations géologiques dans le proche sous-sol, afin d'adapter au mieux le système de fondation de la construction envisagée.
- En cas de sols argileux, des essais de laboratoire permettent d'identifier leur sensibilité vis-à-vis du phénomène de retrait-gonflement.



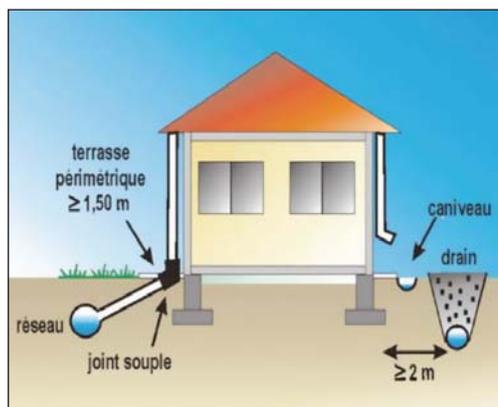
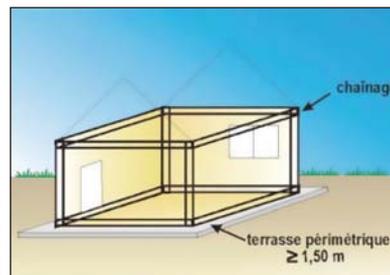
## Adapter les fondations

- Profondeur minimale d'ancrage : 1,20 m en zone d'aléa fort et 0,80 m en zone d'aléa moyen à faible.
- Fondations continues armées et bétonnées à pleine fouille dimensionnées selon les préconisations des Documents Techniques Unifiés (DTU 13-12 et DTU 13-11).
- Éviter toute dissymétrie dans l'ancrage des fondations (ancrage aval au moins aussi important que l'ancrage amont, pas de sous-sol partiel).
- Préférer les sous-sols complets, les radiers ou les planchers sur vide sanitaire plutôt que les dallages sur terre-plein.



## Rigidifier la structure et désolidariser les bâtiments accolés

- Prévoir des chaînages horizontaux (haut et bas) et verticaux (poteaux d'angle) pour les murs porteurs (DTU 20-1).
- Prévoir des joints de rupture sur toute la hauteur entre bâtiments accolés fondés différemment ou exerçant des charges variables.



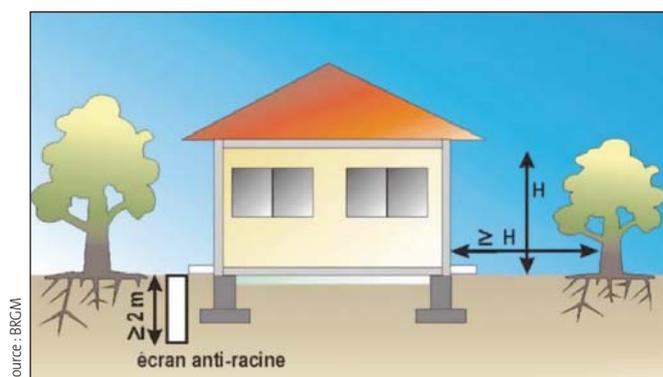
## Éviter les variations localisées d'humidité

- Réaliser un trottoir périmétrique anti-évaporation d'une largeur minimale de 1,50 m (terrasse ou géomembrane).
- Éloigner les eaux de ruissellement des bâtiments (caniveau) et privilégier le rejet des eaux pluviales et usées dans le réseau lorsque c'est possible (sinon prévoir une distance minimale de 15 m entre les points de rejet et les bâtiments).
- Assurer l'étanchéité des canalisations enterrées (joints souples au niveau des raccords).
- Éviter les drains à moins de 2 m d'un bâtiment ainsi que les pompages (à usage domestique) à moins de 10 m.



## Éloigner les plantations d'arbres

- Ne pas planter d'arbre à une distance de la maison inférieure à au moins la hauteur de l'arbre adulte (ou 1,5 fois cette hauteur en cas de haie).
- À défaut, mettre en place des écrans anti-racine d'une profondeur minimale de 2 m.
- Attendre le retour à l'équilibre hydrique avant de construire sur un terrain récemment défriché.





# Prise en compte du risque mouvements de terrain dans l'aménagement du territoire

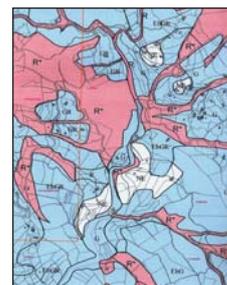
*La réduction de la vulnérabilité des enjeux passe avant tout par la maîtrise de l'urbanisation, voire l'adaptation des constructions dans les zones à risque. Plusieurs outils peuvent être utilisés pour maîtriser l'occupation et l'usage du sol présents et futurs.*

## Les Plans de Prévention des Risques naturels (PPR)

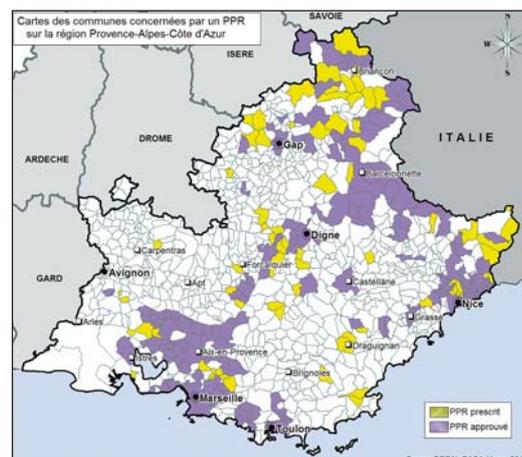
Le plan de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) créé par la loi du 2 février 1995 (article L562-1 du Code de l'Environnement) constitue aujourd'hui l'un des instruments essentiels de l'action de l'État en matière de prévention des risques naturels. Le PPR a pour objet de cartographier les zones soumises aux risques naturels puis d'y définir des règles d'urbanisme et de construction ainsi que des mesures de protection et de sauvegarde. Il relève de la responsabilité de l'État. Les PPR sont décidés par les Préfets et réalisés par les services déconcentrés de l'État en concertation avec les collectivités locales sur les territoires les plus exposés mais aussi ceux qui ne sont pas directement exposés, mais où des aménagements pourraient les aggraver. Ce document, établi sur la base d'une cartographie des zones à risques, interdit ou réglemente l'urbanisation et la construction dans les espaces les plus exposés. Il peut prescrire diverses mesures, comme des travaux sur les bâtiments existants, des interdictions de construire. Après approbation, les PPR valent servitude d'utilité publique et sont annexés au plan local d'urbanisme (PLU), qui doit s'y conformer. Dès lors, l'aménagement sur une commune ne pourra se faire qu'en prenant en compte ces documents. Cela signifie qu'aucune construction ne pourra être autorisée dans les zones présentant les aléas les plus forts, ou uniquement sous certaines contraintes. En janvier 2010, sur les 963 communes que compte la région Provence-Alpes-Côte d'Azur :

- 75 communes ont d'un PPR mouvements de terrain approuvé ;
- 74 communes bénéficient d'un PPR mouvements de terrain prescrit.

Exemple d'un zonage PPR  
mouvements de terrain.



Les zones à risque sont cartées  
et légendées de différentes  
couleurs et codes.



## Extrait de l'article L562-1 du Code de l'Environnement

*"I. L'État élabore et met en application des plans de prévention des risques naturels prévisibles tels que les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes ou les cyclones.*

*II. Ces plans ont pour objet, en tant que de besoin :*

- 1. De délimiter les zones exposées aux risques, dites "zones de danger" en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction, d'ouvrage, d'aménagement ou d'exploitation agricole, forestière, artisanale, commerciale ou industrielle ou, dans le cas où des constructions, ouvrages, aménagements ou exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient y être autorisés, prescrire les conditions dans lesquelles ils doivent être réalisés, utilisés ou exploités ;*
- 2. De délimiter les zones, dites "zones de précaution", qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, des aménagements ou des exploitations agricoles, forestières, artisanales, commerciales ou industrielles pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions telles que prévues au 1 ;*
- 3. De définir les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones mentionnées au 1 et au 2, par les collectivités publiques dans le cadre de leurs compétences, ainsi que celles qui peuvent incombent aux particuliers ;*
- 4. De définir, dans les zones mentionnées au 1 et au 2, les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces mis en culture ou plantés existants à la date de l'approbation du plan qui doivent être prises par les propriétaires, exploitants ou utilisateurs.*

*III. La réalisation des mesures prévues aux 3 et 4 du II peut être rendue obligatoire en fonction de la nature et de l'intensité du risque dans un délai de cinq ans, pouvant être réduit en cas d'urgence.*

*À défaut de mise en conformité dans le délai prescrit le Préfet peut, après mise en demeure non suivie d'effet, ordonner la réalisation de ces mesures aux frais du propriétaire, de l'exploitant ou de l'utilisateur. (...)"*



## Documents d'urbanisme (SCOT, PLU) et permis de construire

La loi SRU du 13 décembre 2000 institue de nouveaux documents d'urbanisme: les schémas de cohérence territoriale (SCOT) au niveau intercommunal, les plans locaux d'urbanisme (PLU) au niveau communal ; ces derniers succèdent aux plans d'occupation des sols (POS).

Ces documents d'aménagement fixent les conditions de prise en compte de la prévention des risques.

Les schémas de cohérence territoriale (SCOT) fixent les orientations générales de l'organisation de l'espace et déterminent les grands équilibres entre les espaces urbains à urbaniser et les espaces naturels et/ou forestiers. Ils apprécient les incidences prévisibles de ces orientations sur l'environnement. Ils définissent les objectifs relatifs à la prévention des risques.

Les plans locaux d'urbanisme (PLU) fixent les règles générales et les servitudes d'utilisation des sols permettant la prévention des risques. Ils permettent de refuser ou d'accepter sous certaines conditions un permis de construire, notamment dans des zones exposées.

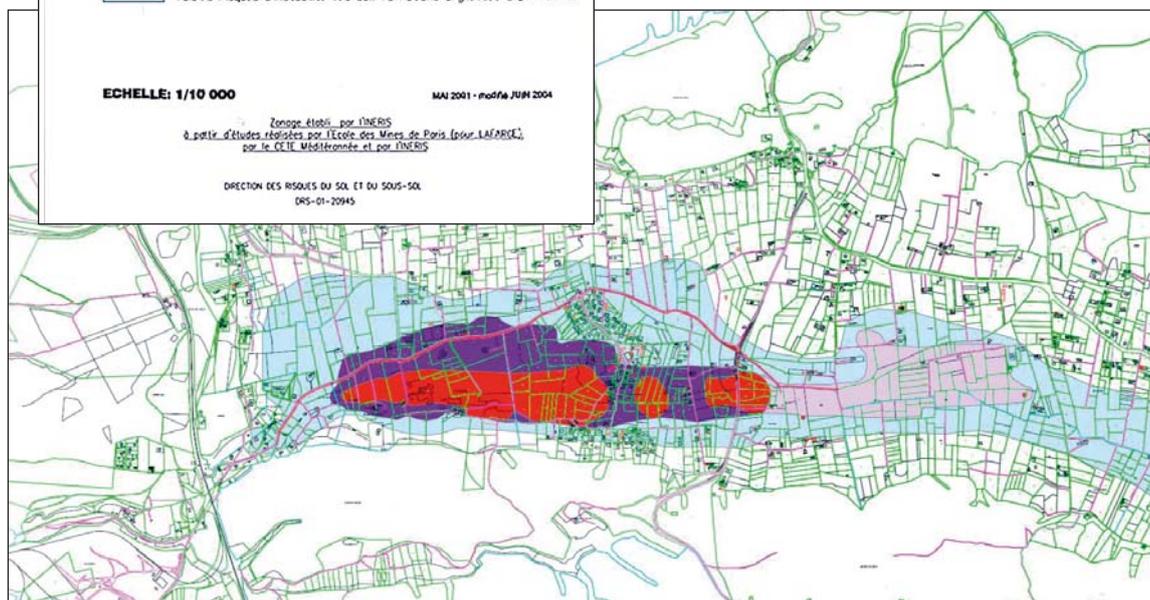
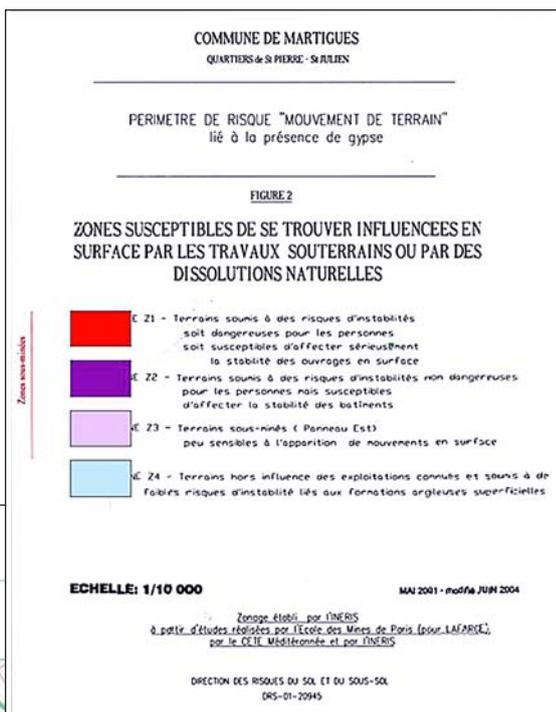
En ce qui concerne la délivrance des permis de construire en l'absence de cartographie opposable aux tiers, l'article R. 111-2 du Code de l'Urbanisme constitue un outil clé de la prévention, d'application immédiate, car d'après cet article :

“Le permis de construire peut être refusé ou n'être accordé que sous réserve de l'observation de prescriptions spéciales si les constructions, par leur situation ou leurs dimensions, sont de nature à porter atteinte à la salubrité ou à la sécurité publique.”

En cas d'absence de cartographie opposable aux tiers et de dangers avérés, la décision peut s'appuyer sur des études historiques d'événements passés ou des études récentes relatives aux zones d'aléa.



Page de couverture du PLU de Martigues. Le PLU prend en compte le risque d'effondrement potentiel au niveau de cavités souterraines jadis exploitées pour le plâtre avec un périmètre élargi au risque de cavités de dissolution naturelle.



Extrait de la carte du risque d'effondrement et légende associée issus du PLU de Martigues.





# Surveillance et auscultation de site : principe et dispositifs de mesure

*L'objectif de la surveillance est d'acquérir des données dont l'exploitation va apporter des précisions sur le(les) mécanisme(s) en jeu et permettre une meilleure approche des critères de danger, et ainsi de gérer le risque de manière plus efficace (mesures de réduction, dimensionnement des parades, alerte).*

*La mesure de l'évolution des teneurs en eau dans le sol est déterminante pour mieux connaître l'évolution des mouvements de terrain. La présence de l'eau dans le sol étant un facteur clé dans le déclenchement des ces derniers.*



## Qu'est-ce que la surveillance?

Le terme "surveillance" est souvent pris au sens large et recouvre des notions très différentes dans leurs objectifs et leurs implications. On distingue :

- **l'observation** qui a pour but, par l'utilisation de moyens simples (repères naturels, mesures d'écartement des fissures, de basculements de blocs, comparaison de photos, etc.) de déterminer si le site est actif ou non à l'échelle de temps humaine et de distinguer le cas échéant les zones stables des zones instables. Elle n'a pas de préoccupation directe de sécurité ;
- **l'auscultation** qui consiste en un examen périodique et régulier du site et un recueil de données quantitatives (instrumentation) et qualitatives caractérisant son évolution. Elle permet d'établir un diagnostic du phénomène, sans contrainte directe de gestion de la sécurité, et le cas échéant d'activer un programme de surveillance ;
- **la surveillance** qui suppose le recueil et l'interprétation en continu ou périodique des données qualitatives et quantitatives caractérisant l'évolution du site dans un objectif de gestion de la sécurité, aussi la prise en compte du temps y est-elle déterminante. Tout ou partie du processus de suivi peut éventuellement être automatisé en vue de la détection d'anomalies justifiant le déclenchement d'alertes.

Comparaison de photos



La Clapière 1976



La Clapière 2001

Source : CETE Méditerranée

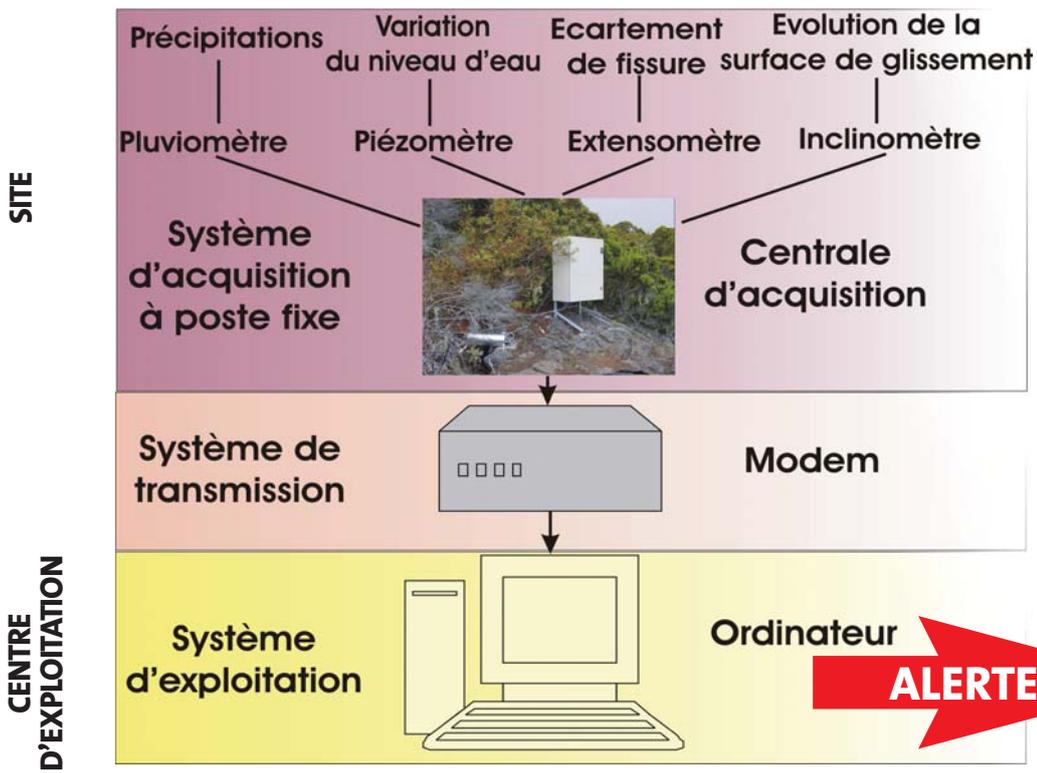


Schéma de principe d'une chaîne de surveillance (d'après L. Besson)



## Mesure de la présence d'eau

La présence d'eau dans le sol est un facteur favorable au déclenchement des mouvements de terrain. C'est pourquoi, lorsque l'on étudie l'évolution d'un mouvement de terrain, il est nécessaire de connaître l'évolution de son profil hydrique. On réalise pour cela des mesures hydrologiques.



**Piézomètre** : mesure les variations de profondeurs de l'eau dans le sol. Le piézomètre est introduit dans un forage de reconnaissance. La mesure du niveau de l'eau est effectuée manuellement à l'aide d'une sonde électrique descendue dans le piézomètre, ou automatiquement par le biais d'un capteur de pression placé à la base du piézomètre.

*Relevé manuel du niveau d'eau effectué à l'aide de la sonde piézométrique*

— Rouleau de câble de la sonde piézométrique  
— Tête du forage dans lequel se trouve le piézomètre



**Capteur de teneur en eau** : permet de mesurer ponctuellement (capteurs type haute fréquence) ou selon un profil (chaîne de capteurs capacitifs en forage) la teneur en eau d'un sol. Associés à une centrale d'acquisition automatique, ils permettent un suivi en continu de l'évolution de la teneur en eau.

Capteur haute fréquence multi électrodes



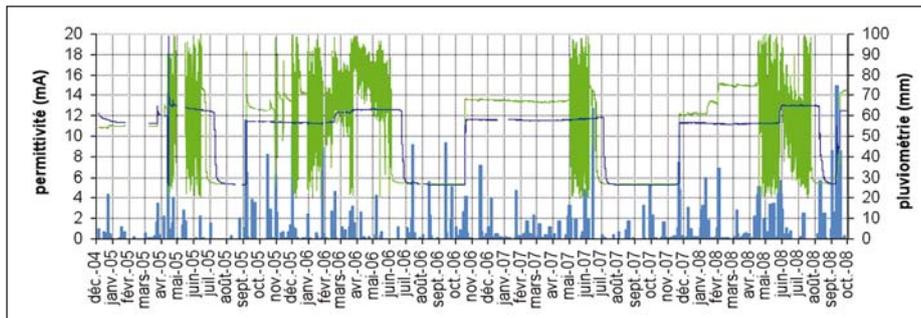
Capteur haute fréquence bi électrodes



Capteur capacitif



*Exemple de variation de la teneur en eau à 1,5 et 2m de profondeur avec indication de la pluviométrie*



**Cellule de mesure de pression interstitielle** : Dans les sols meubles humides, les surpressions interstitielles s'accompagnent d'une réduction de la résistance au cisaillement susceptible d'induire ou d'accélérer les instabilités sur les pentes. Le suivi des variations des pressions interstitielles s'opère par le biais de cellules du même nom, soit foncées dans le sol soit installées dans un forage.



A) Cellule de pression interstitielle "foncée" (que l'on enfonce directement dans le sol)  
B) Cellule de pression interstitielle "posée" (posée à l'intérieur du forage).





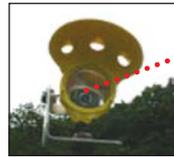
# Surveillance et auscultation de site : mesure de l'évolution des mouvements de terrain

*Les dispositifs d'auscultation des mouvements de terrain servent à suivre l'évolution du mouvement en mesurant son déplacement. Quelques dispositifs de mesure couramment utilisés sont décrits dans cette fiche, mais la liste n'est pas exhaustive.*

**Dispositifs de mesures de déformation en surface :** destinés aux sites plus ou moins étendus et aux larges fissures.



**Théodolite :** appareil mesurant les déplacements de cibles "repères" disposées sur la surface en mouvement (visées angulaires et distances).



*Les cibles "repères" (à droite) sont positionnées sur la surface à surveiller. Le théodolite est réputé posé sur un socle fixe, et pointe automatiquement et périodiquement son faisceau laser vers les cibles.*



**Dispositifs de mesure d'ouverture des fissures/crevasses**

**Extensomètre :** mesure le déplacement relatif de deux points ou d'un point par rapport à une base supportée fixe.

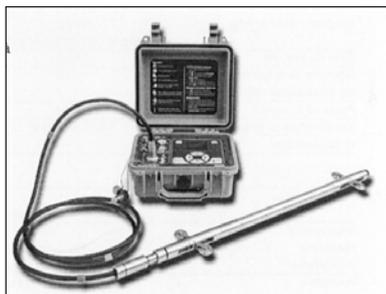


*Extensomètre mesurant l'écartement entre les deux parois de la crevasse. Les mesures sont enregistrées automatiquement dans la centrale d'acquisition (à droite).*



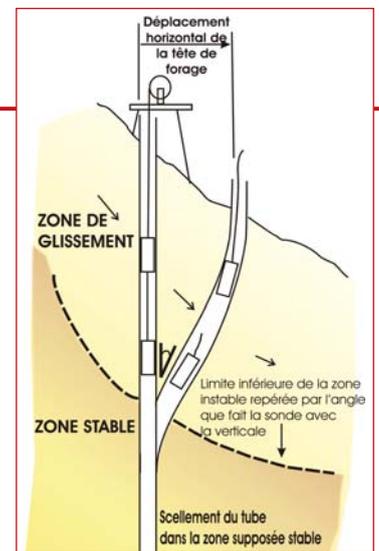
**Dispositifs de mesures internes au terrain**

**Inclinométrie :** mesure de l'amplitude et de la direction des déplacements du terrain à l'aide d'une sonde introduite dans un tube cannelé. Le tube est solidaire du terrain et va suivre ses déformations (sa base est ancrée dans la "zone stable", sous la frange instable). Les mesures faites "en remontant" et à intervalles réguliers permettent de reconstituer la déformée du tube.



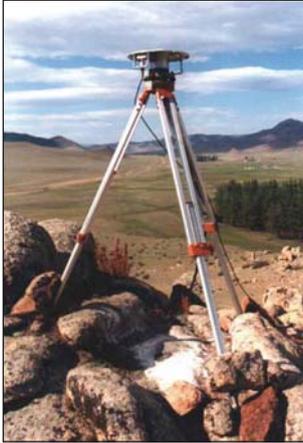
*Sonde inclinométrique reliée à sa centrale d'acquisition*

*Principe d'un tube inclinométrique (d'après L.Besson)*



## Dispositifs de mesures satellitaires

**Géodésie spatiale GPS** : C'est le système de positionnement par satellites à l'échelle du globe. À l'heure actuelle 24 satellites transmettent les signaux à un réseau d'antennes fixées à demeure sur des bâtiments. À la surface du globe toutes les antennes sont mises en réseau. C'est le RGP (Réseau GPS Permanent). La position est recalculée en permanence (même en cas de brouillage par l'armée américaine). La précision actuelle est de l'ordre du centimètre. Le GPS Différentiel, en anglais Differential Global Positioning System (DGPS) est une amélioration du GPS. Il utilise un réseau de stations fixes de référence qui transmet l'écart entre les positions indiquées par les satellites et leurs positions réelles connues.



Antenne mobile



Source : ARPA Piémont

Antenne fixe

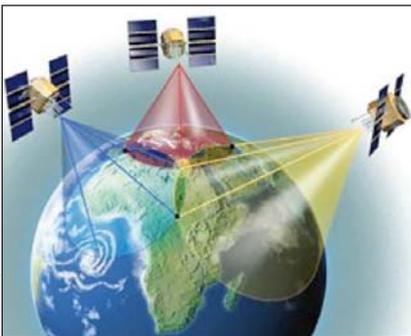


Source : © Trimble

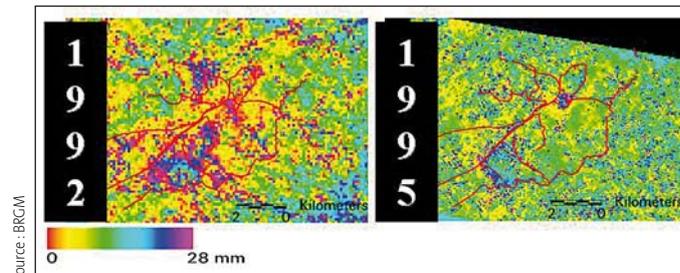
Antenne mobile et son récepteur

À partir d'une station située sur un point connu distant de quelques kilomètres, on obtient ainsi à l'aide du GPS des positions précises à quelques millimètres près avec des logiciels de traitement très élaborés utilisés en temps différé. Ainsi, des antennes fixes ou mobiles installées sur un glissement de terrain permettent de suivre l'évolution de sa surface.

**Interférométrie radar différentielle** : technique spatiale de quantification des déplacements de surface. Le principe de la technique d'interférométrie radar repose sur le traitement de la phase du signal radar (onde électromagnétique). C'est elle qui contient l'information altimétrique recherchée. Le traitement des images radar prises lors de cycles orbitaux successifs - interférogrammes radar - permet de détecter les éventuelles variations altimétriques du sol avec un grande précision. C'est cet aspect qui est utilisé pour détecter ou assurer un suivi des glissements de terrain, mais également de diverses subsidences, qu'elles soient d'origine minière, hydraulique ou naturelle.



Erwin Mayer



Source : BRGM

Suivi et détection d'une zone de subsidence induite par une activité minière (Gardanne, Bouches-du-Rhône)





# Surveillance et auscultation de sites : exemples en région

*Dans le cas de mouvements de versant de grande ampleur, pour lesquels il n'est généralement pas possible de remédier au phénomène, la surveillance, associée parfois à des travaux annexes, constitue la meilleure stratégie possible à la gestion du risque. En Provence-Alpes-Côte d'Azur, deux grands mouvements de terrain font l'objet d'une surveillance : le site de La Clapière dans les Alpes-Maritimes, et le site de La Valette dans les Alpes de Haute-Provence.*



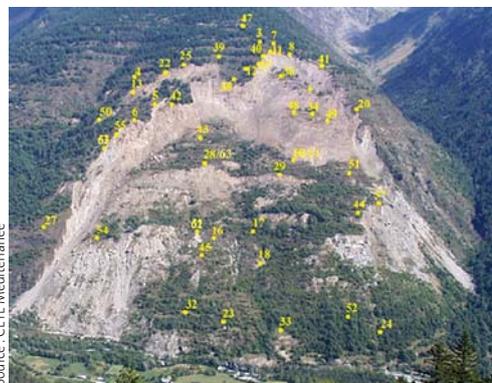
## Le glissement de La Clapière

Le glissement de "La Clapière" est un glissement de versant situé sur la commune de Saint-Etienne-de-Tinée, en rive gauche de la Tinée (Alpes-Maritimes). Qualifié de plus grand glissement d'Europe, il mobilise 30 à 50 millions de mètre cubes de terrain.

La vitesse de déplacement du glissement a augmenté au cours de trois périodes : de 1952 à 1965 de 40 cm/an ; entre 1965 et 1975 de 60 cm/an ; puis entre 1975 à 1984 à 150 cm/an. Dans les années 1980, le glissement a connu des pointes à 10 cm par jour.

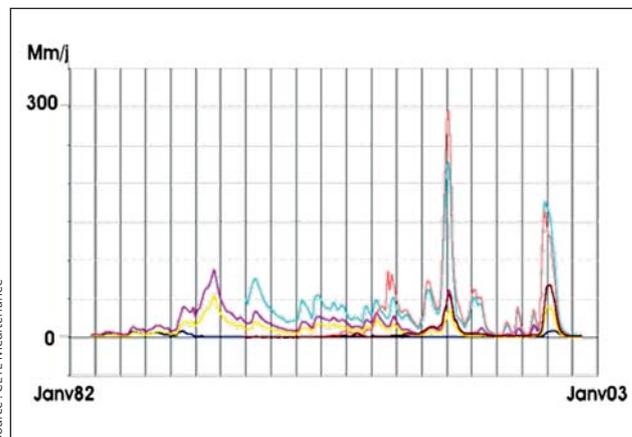
Actuellement, l'activité du glissement semble être localisée en zone amont du glissement.

À la fin des années 80, la route a été déviée et un tunnel a été creusé pour canaliser les écoulements de la Tinée en cas d'obstruction.



Source : CETE Méditerranée

*Une cinquantaine de cibles quadrille le versant instable. Une station de mesure équipée d'un distancemètre prend les mesures qui sont transmises toutes les 4h au centre de traitement.*



Source : CETE Méditerranée

Mesures de la vitesse de déplacement de différentes cibles de 1982 à 2003.

Actuellement, différents paramètres sont mesurés quotidiennement : la cinématique du glissement (distancemètre et cibles) ; l'hydrologie (débit de la Tinée, pluviométrie, suivi de la couverture neigeuse). Le traitement (dépouillement et interprétation des données) et l'entretien des appareils de mesure sont réalisés par le CETE Méditerranée pour le compte de la DDTM [glossaire]. La surveillance est sous le contrôle d'un comité d'experts nommés par le Préfet. Ce comité a défini différents seuils de vitesses de déplacement qui permettent de gérer une éventuelle crise (comme en 1987). L'alarme est donnée par le personnel d'astreinte s'il le juge opportun. Ensuite, les autorités responsables décident ou non de lancer le plan de secours.



Système de transmission de l'alerte

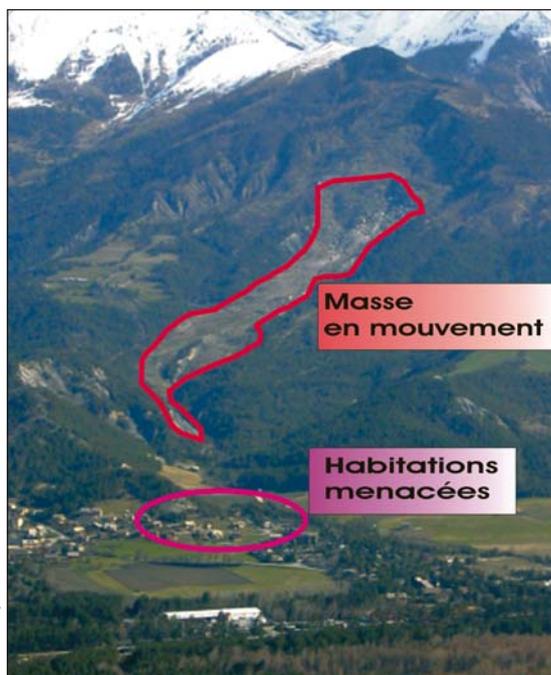
Référence : CETE Méditerranée

## Glissement de la Valette (Alpes de Haute-Provence)

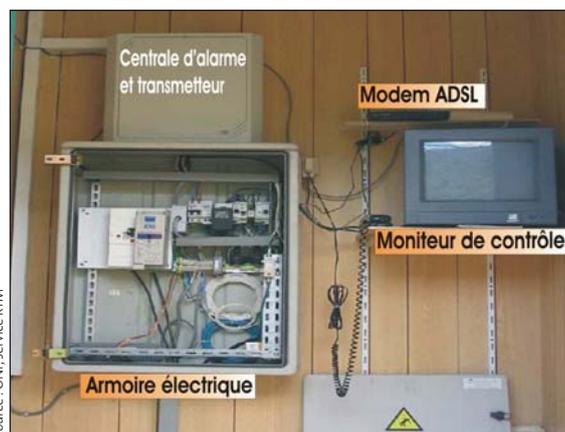
Le glissement de La Valette s'est brusquement manifesté au printemps 1982 au nord-ouest de Barcelonnette dans la vallée de l'Ubaye. La surface actuellement concernée par le glissement atteint près de 50 ha. Dans les années 90, le volume de matériaux en mouvement était de plusieurs millions de mètres cubes, menace directe pour les habitations et commerces situés en aval.

Pour protéger ces populations, un ensemble de mesures techniques et administratives ont été prises par les Services de Restauration des Terrains en Montagne (RTM) de l'ONF en appui avec la Préfecture et les deux communes concernées (Barcelonnette et Saint-Pons) :

- un piège à matériaux a été construit pour retenir d'éventuelles coulées de boue ;
- un système de drainage a été mis en place pour ralentir le mouvement ;
- un système de surveillance permanente par caméra infrarouge et détecteur de coulées a été installé ;
- un Plan de Secours Spécialisé avec un schéma d'évacuation de la population a été préparé.

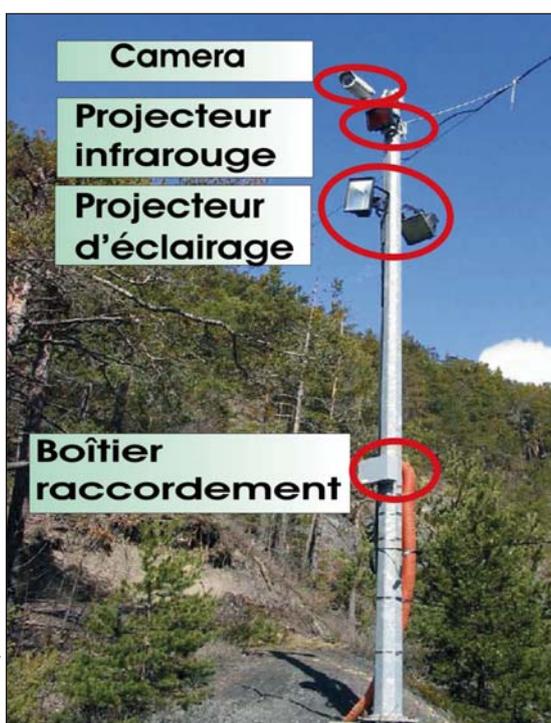


Détecteurs des coulées de boue



Local technique

Au plus fort de la crise, on mesurait un déplacement de la masse en mouvement de 45 cm/j, aujourd'hui, le mouvement s'est considérablement ralenti, puisqu'on enregistre un déplacement moyen de 4 cm/mois. Néanmoins, le glissement reste toujours une menace pour les habitations, et la surveillance se poursuit.



Système de video-surveillance relié au local technique





# Signal d'alerte et organisation des secours

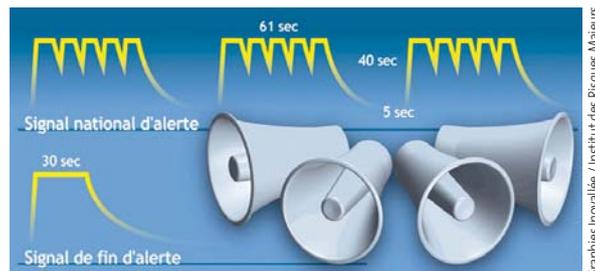
*En cas de crise, le signal national d'alerte est lancé par le Maire ou le Préfet. Les rôles respectifs de ces derniers dépendent de l'étendue de la catastrophe. Ils sont chargés d'organiser et de coordonner les secours déployés. La population doit, quant à elle, connaître les précautions minimales à prendre avant, pendant et après l'apparition du phénomène.*

*La loi n°2004-811 de modernisation de la sécurité civile du 13 août 2004 porte sur la doctrine et l'organisation de la sécurité civile.*



En cas d'émission du signal national d'alerte, la population doit se mettre à l'écoute de la radio (RadioFrance ou radios locales). Les premières informations y seront communiquées, ainsi que les consignes à adopter.

Le **signal national d'alerte**, appelé aussi "Alerte Risque Majeur", annonce un danger imminent (nuage de produit toxique, fuite de gaz, tornade...). Le signal de début d'alerte consiste en trois cycles successifs d'une durée de 1 minute et 41 secondes chacun et séparés par un intervalle de 5 secondes.



Graphies Inovalée / Institut des Risques Majeurs

Avant la crise, une bonne **organisation et préparation des secours** est essentielle pour la gestion de la crise. En cas de phénomène grave, la mise en œuvre rapide et efficace de tous les moyens disponibles dépendra de cette planification préalable des secours.

En cas de crise, il s'agit alors de combattre le sinistre avec le maximum d'efficacité, en assurant la cohérence stratégique des décisions qui sont prises, aussi bien pour la protection de la population que pour la résorption du risque et de la préparation de l'après crise.



## Le Maire

est responsable de la mise en œuvre sur le territoire de sa commune de l'ensemble des mesures relatives "au bon ordre, à la sûreté et à la sécurité publique" (art. L.2212.2 et suivants du code général des collectivités territoriales). La responsabilité de l'organisation et de la coordination des secours lui incombe donc en premier lieu.

## Le Préfet intervient :

- pour se substituer à un Maire défaillant dans l'exercice de ses pouvoirs de police ;
- lorsque le problème concerne plusieurs communes du département ;
- pour la mise en œuvre de pouvoirs de police spéciaux, en liaison avec l'émergence de risques nouveaux, en particulier technologiques ;
- dès que la nature ou l'importance du sinistre le justifie.



**Le Plan Communal de Sauvegarde (PCS) concerne l'organisation des services communaux en cas de crise. Il est fortement conseillé au Maire de l'établir (obligation dans certains cas)\* afin de préparer au mieux l'organisation de secours surtout dans les premières heures de crise qui sont les plus intenses. Ce plan prévoit la mise en place d'une petite équipe de crise autour du Maire au sein d'un poste communal de commandement. Il doit également prévoir la transmission des informations vers la Préfecture.**

\* Le PCS est obligatoire pour les communes dotées d'un PPR naturel approuvé et pour celles comprises dans le champ d'application d'un Plan Particulier d'Intervention.

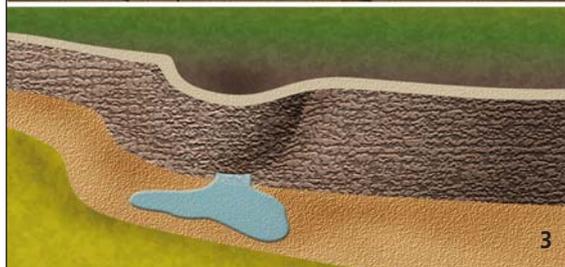
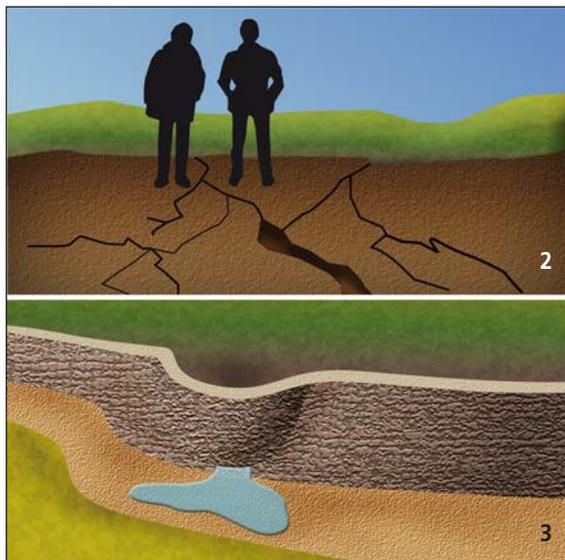
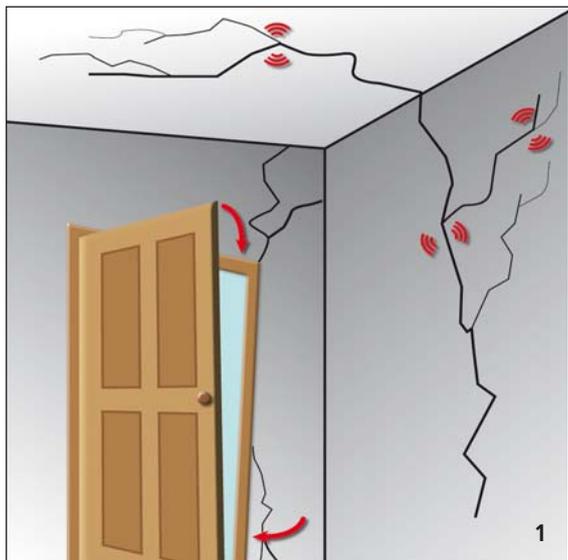
**Le plan ORSEC (Organisation de la Réponse de la Sécurité Civile) est un plan d'organisation de la direction des secours et permet la mobilisation des moyens publics et privés nécessaires à l'intervention. Les secours sont répartis en 4 services :**

- Sapeur-pompiers : premiers secours et sauvetage ;
- SAMU-DDASS : soins médicaux et entraide ;
- Services de Transmission de l'Intérieur : police et renseignement ;
- DDT ou DDTM [Glossaire] : travaux et transports.

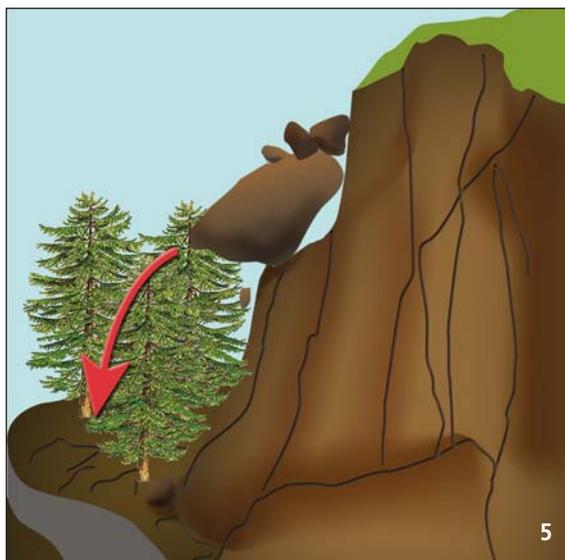
**C'est le Préfet qui décide de la mise en route du plan ORSEC dans son département. Le plan ORSEC prévoit l'organisation des transports, de la circulation, de l'accueil et de la protection des sinistrés.**



## Les consignes à tenir en cas de mouvements de terrain



En cas de craquelures inhabituelles et inquiétantes (1), évacuer le bâtiment immédiatement. Signaler à la mairie : l'apparition de fissures dans le sol (2) ; les désordres apparaissant dans les constructions : murs de soutènement présentant un "ventre", écoulement anormal d'eau (3), craquelures dans une habitation, fissures importantes de façades, cloisons et plafonds, portes et fenêtres qui ne s'ouvrent ou ne se ferment plus (1) ;



4. l'apparition d'un fontis (trou dû à la rupture du toit d'une cavité souterraine) ;

5. l'apparition de blocs en surplomb sur une falaise ou de blocs désolidarisés sur une paroi.



6. Évacuer les bâtiments sans utiliser les ascenseurs, s'éloigner de la zone dangereuse.

## APRÈS

- Ne pas entrer dans un bâtiment endommagé.
- Informer les autorités : (Pompiers : 18 ou 112, mairie).

Source :  
repris d'après l'IRMA [glossaire]  
(<http://www.irma-grenoble.com/>)

AVANT

PENDANT





# Le projet RIVES : gestion des secours dans le cas d'un mouvement de terrain transfrontalier (Bassin de l'Ubaye, Col de Larche, Val Sutra)

*Initié en 2000 par la Préfecture des Alpes de Haute-Provence et par la Province de Cuneo, le projet RIVES concernait côté français les départements des Alpes de Haute-Provence (04) et des Alpes-Maritimes (06) et côté italien la Province de Cuneo et la Province d'Imperia.*

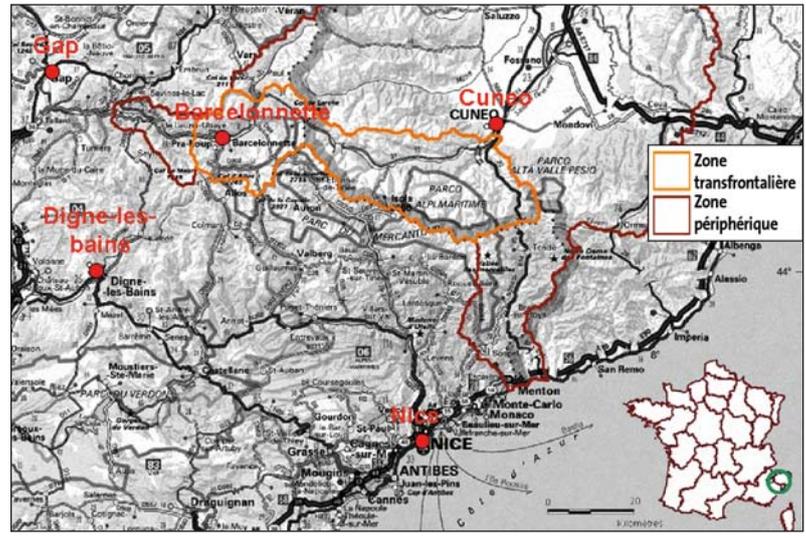
*Ce projet avait pour objet la gestion des risques naturels en abordant les aspects techniques, opérationnels et relationnels.*



C'est ainsi qu'ont été successivement réalisés :

- l'analyse des risques dans les vallées transfrontalières de l'Ubaye et du Val Stura ;
- la description et la comparaison des systèmes et des rôles des acteurs de la protection civile français et italiens ;
- un exercice de gestion de crise transfrontalière.

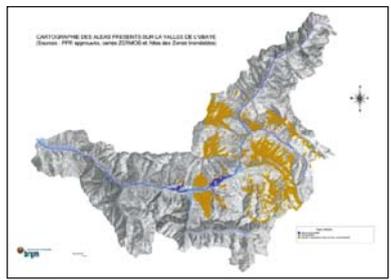
Les résultats de ce projet, outre ces réalisations, sont un développement important des relations transfrontalières franco-italiennes, la réalisation et la mise en œuvre d'outils facilitant la gestion de crise. Ces outils ont été testés à travers la réalisation d'un exercice de crise liée à la survenue d'un mouvement de terrain sur le réseau routier. Ce projet s'est déroulé dans la cadre du programme de financement Interreg IIIa Alcotra 2000-2006.



Réalisation : Mathieu Richard, décembre 2005

## 1. Développement des relations franco-italiennes entre les acteurs de la protection civile et mutualisation des connaissances sur les risques naturels

De multiples rencontres entre les acteurs de la protection civile des deux pays ont eu lieu (réunions, visites de terrain). Elles ont permis de mettre en commun les connaissances sur les risques naturels et de développer les relations entre les acteurs de la sécurité civile des deux pays.

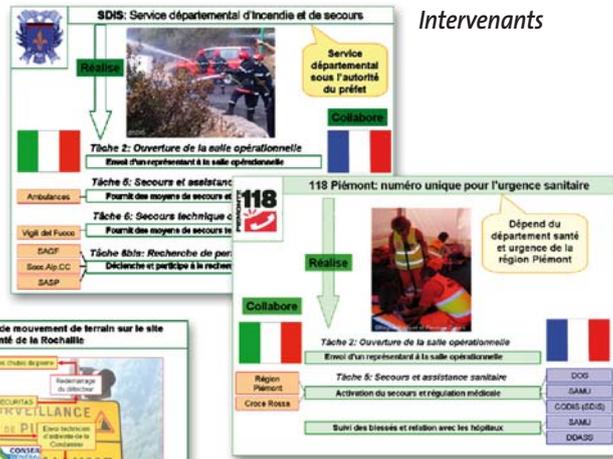


## 2. Développement d'outils et d'instruments de la gestion de crise sur la zone

Des fiches décrivant le rôle des intervenants français et italiens en temps de crise et soulignant les articulations transfrontalières ont été rédigées. Elles servent de support à l'exercice.

Le vademecum présente les dispositifs de surveillance, d'alerte et de gestion de crise existants des deux côtés de la frontière.

Une interface utilisant un système d'Information géographique et une base de données, permet le géoréférencement et la représentation en 3D en temps réel des moyens de protection civile engagés sur la zone sinistrée.



**Vademecum**



## 3. Montage et réalisation d'un exercice de sécurité civile grandeur nature



En simulant un glissement de terrain se produisant sur une route départementale et nécessitant l'intervention des secours italiens en France, cet exercice a permis de mettre en œuvre la coopération transfrontalière entre les acteurs de la gestion de crise, et de valider les outils développés. L'ensemble des moyens de télécommunication ont été testés. À cette fin, les systèmes de communication satellitaires de la Région Piémont ont été acheminés sur zone. Au cours du retour d'expérience, des solutions ont été proposées pour améliorer les dispositifs de gestion de crise, de circulation de l'information et de télécommunications.

Un DVD a été réalisé sur l'exercice. Il est disponible au BRGM (Service Géologique Régional basé à Marseille).

### Apports en termes de connaissance des risques

- Accroissement conséquent et mutualisation des connaissances sur les risques mouvements de terrain des deux pays.
- Connaissance et information sur les systèmes de gestion de crise, les intervenants, les moyens en télécommunication des deux pays.

### Apports en termes de gestion du risque et d'aménagement

- Développement d'outils opérationnels de gestion du risque (bases de données, vademecum, outils SIG, etc.).
- Test des moyens de communication en zone frontalière.
- Renforcement des relations de coopération entre les acteurs français et italiens de la gestion de crise.



# IV Protections contre le risque mouvements de terrain



PO.1



Les techniques de stabilisation  
des glissements de terrain

PO.2



Les techniques de stabilisation  
des glissements de terrain (suite)

PO.3



Mesures de protection contre les instabilités  
rocheuses - parades passives

PO.4



Mesures de protection contre les instabilités  
rocheuses - parades actives

PO.5



Mesures de protection  
contre les coulées



PO.6



Mesures de protection contre  
les effondrements et affaissements

PO.7



La gestion des parades : exemple de gestion des ouvrages  
de protection des falaises dans les Hautes-Alpes

PO.8



Axe de recherche : le rôle des forêts de montagne  
dans la protection des instabilités rocheuses



Résumé au verso ▶

## IV Protections contre le risque mouvements de terrain



Le terme mouvements de terrain couvre un large éventail de phénomènes. Cela va du mouvement de terrain de faible ampleur – glissement de talus de quelques mètres cubes, chutes de pierres – au phénomène d'ampleur considérable affectant un versant montagneux - glissement de quelques millions de mètres cubes dans les vallées montagneuses, instabilités de versant rocheux.

L'ensemble de ces phénomènes est à prendre en compte dans l'appréciation des risques vis-à-vis de l'occupation des sols, des travaux d'aménagement futurs ou de la protection des infrastructures existantes.



À la diversité des situations correspond une grande diversité de techniques et de méthodes de protection vis-à-vis des phénomènes mouvements de terrain.

Le choix d'une technique résulte d'un compromis entre l'analyse des paramètres techniques du site, la maîtrise des techniques de stabilisation, les impératifs techniques et économiques.

Globalement, les techniques de protection mises en place agissent soit en s'opposant aux conséquences du phénomène une fois qu'il est déclenché (techniques réparatrices/parades passives), soit en traitant la cause à l'origine du phénomène (techniques curatives/parades actives).



Concernant les glissements de terrain, les solutions confortatives ont une action réparatrice. Elles sont classées en trois catégories : les terrassements, les dispositifs de drainage et l'introduction d'éléments résistants.

Les protections vis-à-vis des instabilités rocheuses peuvent être de deux types : mise en place de parades passives ou actives.

Les structures de protection contre les coulées visent à empêcher le déclenchement du phénomène, réduire son ampleur, le dévier, le canaliser ou l'arrêter avant qu'il n'atteigne les enjeux.



Pour se protéger des phénomènes d'affaissement/effondrement, il existe différentes techniques de confortement des cavités souterraines.

Dans les Hautes-Alpes, le Conseil Général développe un outil de gestion et de programmation d'entretien et de réparation des ouvrages de protection des falaises.

*Sources : pour les mesures de protection contre les risques de glissement et les instabilités rocheuses, les définitions et illustrations sont en grande partie issues des guides techniques des Laboratoires des Ponts et Chaussées intitulés "Stabilisation des glissements de terrain" et "Parades contre les instabilités rocheuses".*





# Les techniques de stabilisation des glissements de terrain

La protection contre le risque de glissement de terrain passe par l'étude du phénomène (nature de terrain, vitesse de déplacement, volume déplacé, facteur déclenchant), qui conduit à l'exécution de travaux de stabilisation.

Les techniques de stabilisation des glissements peuvent être classées en 3 catégories :

- les terrassements ;
- les dispositifs de drainage ;
- l'introduction d'éléments résistants.



## Les terrassements

Ces techniques consistent à modifier la topographie du glissement afin de retrouver une situation d'équilibre.

### L'allègement en tête de glissement

Cela consiste à décharger la "tête du glissement". Ce déchargement entraîne une diminution de la masse et donc des forces motrices [glossaire]. Il est également possible d'augmenter la stabilité d'un terrain en réduisant sa pente. Cette solution est adaptée pour des talus non naturels ou de faible extension, mais généralement difficile à mettre en œuvre sur les versants naturels.



Tête du glissement en janvier 2001

source : BRGM

*Allègement en tête de glissement (Marseille). Les masses glissées en tête du glissement en 2001 ont été déblayées, et des murs de confortement équipés de drains ont été construits pour soutenir les terrains amont.*



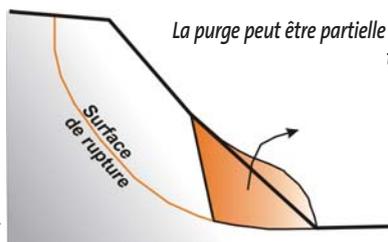
source : BRGM



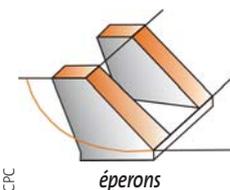
### La purge totale

Cela consiste à supprimer les matériaux glissés. C'est une solution seulement applicable aux glissements de taille modeste, de faible profondeur.

La purge peut être partielle avant traitement complémentaire ou totale avant reconstitution éventuelle.



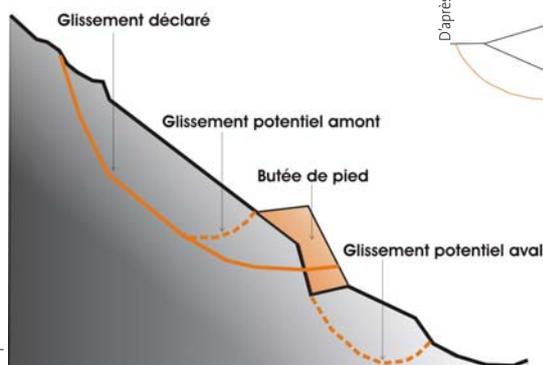
D'après LCPC



D'après LCPC

### La substitution partielle

Lorsque la purge totale n'est pas possible, la substitution se limite à des bèches, des contreforts, des masques ou des éperons qui, s'ils sont bien dimensionnés, peuvent suffire à la stabilisation.



D'après LCPC

bèche



## Les dispositifs de drainage

L'eau joue très souvent un rôle déterminant dans "le déclenchement" des glissements de terrain, que cela soit par son action mécanique, physico-chimique ou chimique. Les dispositifs de drainage ont pour rôle de réduire l'action de l'eau soit en évitant l'alimentation en eau du site, soit en expulsant l'eau présente dans le massif instable.



### Drainage de surface

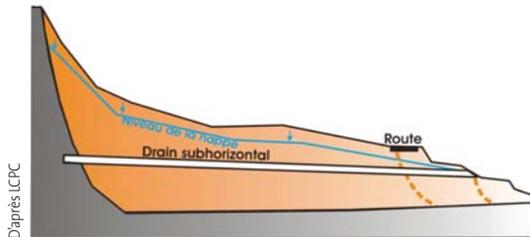
Il s'agit de mettre en œuvre des moyens pour limiter les infiltrations dans les terrains en mouvements en collectant et en canalisant les eaux de surface (cunettes, caniveaux, fossés, etc.).

### Drains subhorizontaux

La technique consiste à réaliser de nombreux forages quasi horizontaux dans le glissement et pour y placer des drains (tubes en PVC ou en acier) ainsi qu'un dispositif de captage des eaux. C'est la technique utilisée lorsque les contraintes d'accessibilité du site ou de profondeur de la nappe interdisent la réalisation de tranchées.



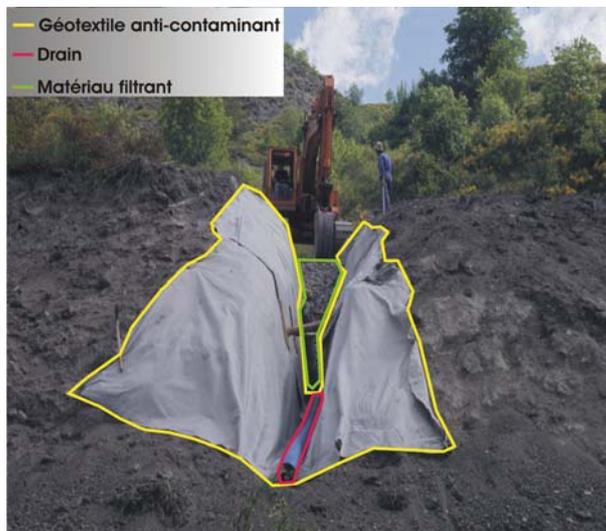
Drainage des eaux de surface à l'aide d'un caniveau (Alpes-Maritimes)



### Tranchées drainantes

Ce sont des ouvrages qui permettent de rabattre le niveau des nappes phréatiques diminuant ainsi les pressions interstitielles au niveau de la surface de rupture.

*Travaux de mise en place d'une tranchée drainante sur le glissement de Ciastel (Alpes-Maritimes). Après avoir recouvert le drain de matériau filtrant, la tranchée sera comblée par des remblais.*



### Drainage profond

Il s'agit de collecter et d'évacuer les eaux à l'intérieur du massif et dans la masse instable. Cela permet de diminuer les pressions d'eau dans le massif, d'éviter les mises en charge brutales dans les discontinuités et d'abaisser le niveau de la nappe. Il peut s'agir de :

- drains subhorizontaux ;
- drains siphons ;
- de galerie drainante ;
- de drains ou puits verticaux.



Exutoire d'un drain-siphon (Alpes-Maritimes)



**Maintenance/gestion** : tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection (cf. *Guide Technique Maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses - Pathologie et gestion des ouvrages* - LCPC). Exemple de gestion de parades [PO7]





# Les techniques de stabilisation des glissements de terrain (suite)

## L'introduction d'éléments résistants

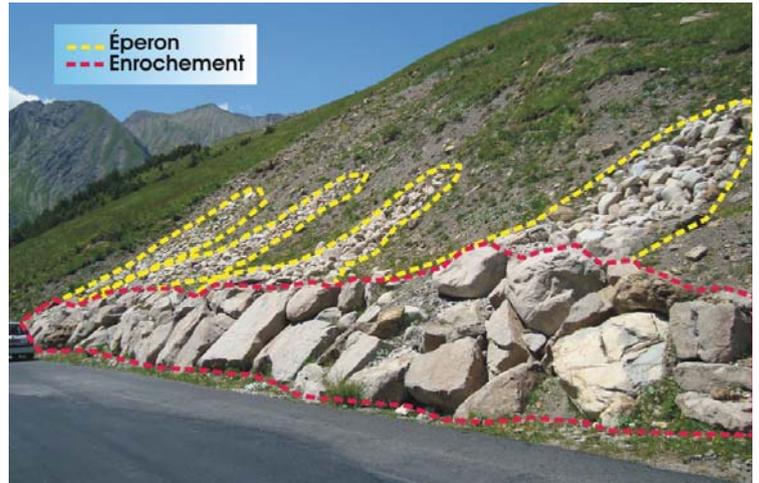
La mise en place d'éléments résistants n'influe pas directement sur la cause du mouvement mais sur ses conséquences. Les éléments résistants (type ouvrages de soutènement, tirants, ancrages, rangées de pieux...) visent à réduire ou arrêter les déformations. Ces techniques sont intéressantes dans le cas où les techniques de stabilisation type terrassement ou drainage ne peuvent être techniquement ou économiquement mises en œuvre.



### Enrochement

Éperons drainants et enrochement en pied de glissement pour contrer l'avancée des matériaux sur la chaussée.

*Observations sur la commune d'Allos (Alpes de Haute-Provence)*



Source: BRGM



### Gabions

Mur de gabions (casiers remplis de pierre en grillage métallique) disposé en pied de glissement pour stopper son évolution vers la route.



Source: BRGM

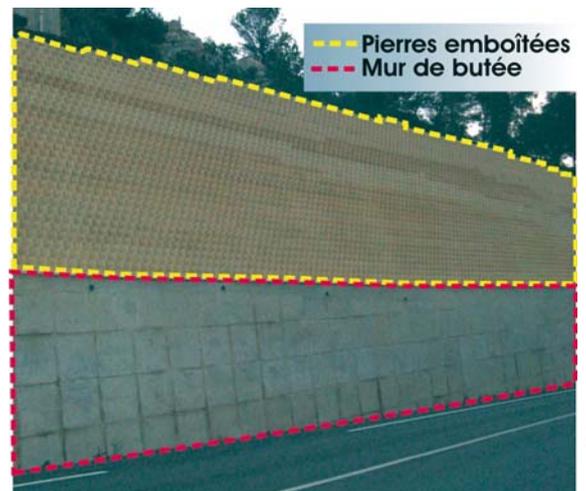
*Observation à l'entrée de la commune d'Arvieux (Hautes-Alpes).*



### Ouvrage rigide

Partie supérieure souple : mur de pierres emboîtées, partie inférieure rigide : mur en béton (pied du glissement) avec ancrages (masqués par le béton).

*Observation sur la commune de Cassis (Bouches-du-Rhône)*



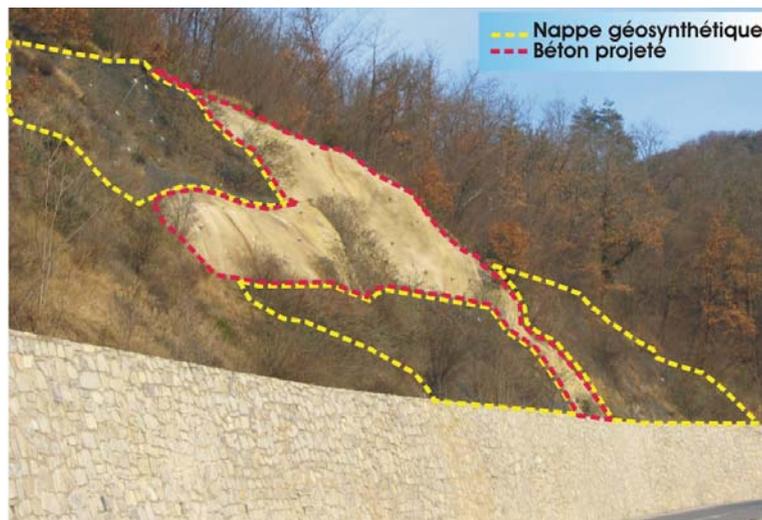
Source: BRGM



## Nappe en géosynthétique

Protection du talus à l'aide d'une nappe de géosynthétique fixée par des câbles et des ancrages (permet de limiter l'érosion par les circulations d'eau superficielles) et de béton projeté associé à des ancrages destinés à bloquer le mouvement du sol. Le long de la route un mur de soutènement empêche la progression des terrains sur la chaussée.

Observation à Lantosque,  
Alpes-Maritimes.



## Systèmes d'ancrages

Les ancrages peuvent être de 2 types : soit passifs soit actifs.

Un **ancrage passif** est constitué par une ou plusieurs armatures (barres d'acier) scellées dans le rocher, assurant la solidarisation d'un volume potentiellement instable avec le massif stable situé en arrière.

Les **ancrages actifs** sont constitués de barres ou câbles scellés en fond de trou au-delà de la zone instable et mis en tension (mesurée à l'aide d'un manomètre).

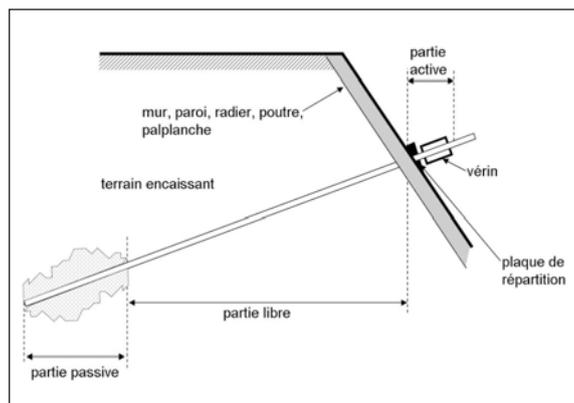
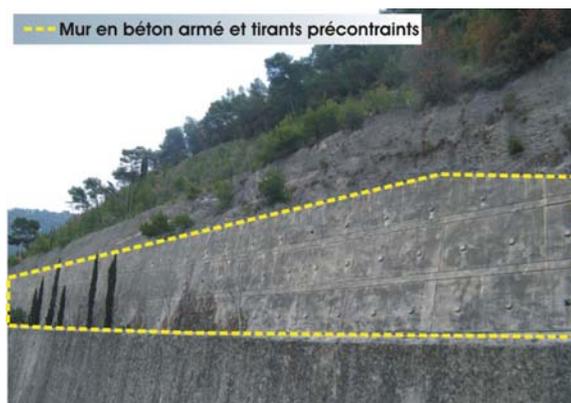


Schéma principe d'un ancrage à l'aide de tirants précontraints.



Alpes-Maritimes.

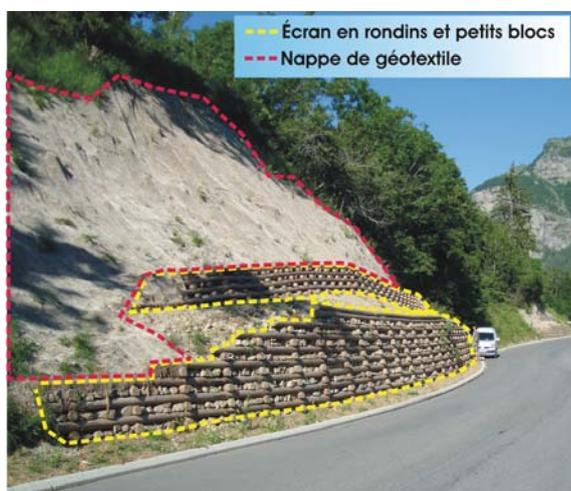


Source: BRGM

## Nappe de géotextile biodégradable et écran en rondins de bois entrecroisés

En partie haute : nappe de géotextile biodégradable favorisant la revégétalisation. En partie inférieure écran réalisé en rondins de bois entrecroisés et remplissage de petits blocs.

Observation à Orcières,  
Hautes-Alpes



Source: BRGM



**Maintenance/gestion** : tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection (cf. *Guide Technique Maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses - Pathologie et gestion des ouvrages* - LCPC). Exemple de gestion de parades [PO7]





# Mesures de protection contre les instabilités rocheuses - parades passives

Les parades passives consistent à diminuer les conséquences du phénomène une fois qu'il s'est déclenché.

## Grillage ou filet pendu

Il s'agit d'une nappe de grillage ou de filet suspendue contre la paroi et assurant ainsi le guidage des chutes de pierres jusqu'à son pied. Ce type de protection est utilisé sur tous les types de pentes (parois fracturées, talus altérés, zones d'éboulis) et permet d'enrayer des chutes fréquentes d'éléments de faible volume (jusqu'à 100 dm<sup>3</sup>). Le grillage peut être ancré en pied de paroi ou simplement suspendu et lesté en pied.

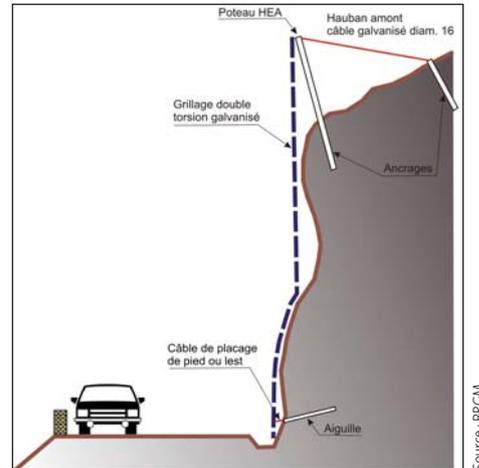
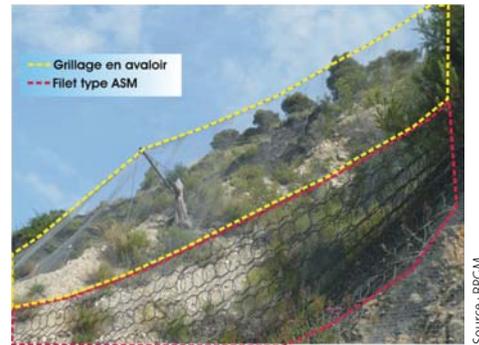


Schéma descriptif d'un grillage suspendu ancré à la paroi



Source : BRGM

Illustration à Seyne, Alpes de Haute-Provence (grillage pendu lesté en pied)



Variante : montage en avaloir (Alpes-Maritimes)

Source : BRGM

Source : BRGM



## Casquette ou galerie pare-blocs

Cette technique protège les routes des chutes de gros blocs voire de grandes masses. Elle est mise en place lorsque toute autre parade serait inefficace (couloir d'éboulis et d'avalanches, pied de parois de grande hauteur). L'efficacité de telles parades est très bonne mais leur mise en œuvre est très coûteuse et implique de lourds travaux pouvant nécessiter l'interruption au moins partielle de la circulation.



Casquette armée le long de la D937 (Saint-Disdier, Hautes-Alpes)

Source : BRGM

## Fossé de réception

Cette parade est capable selon son dimensionnement de capter et de stocker des pierres, des blocs isolés ou des éboulements en masse. Il s'agit d'un déblai dont le fond est en principe recouvert d'une couche de matériaux meubles. Faute de place, sa conception n'est pas toujours possible. En terrain rocheux sa mise en œuvre est délicate.



Fossé de réception le long de la RD 900 (Gap, Hautes-Alpes)

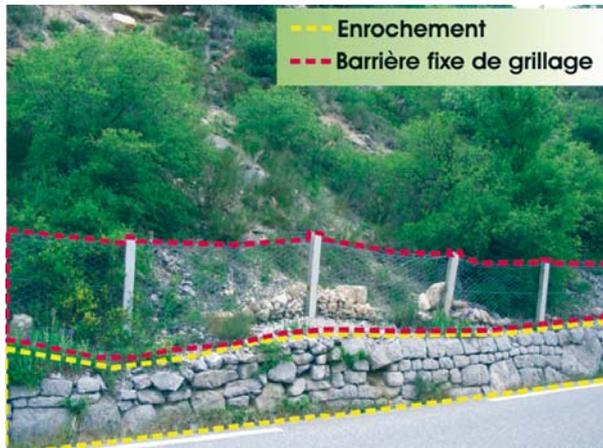
Source : BRGM



## Barrière fixe de grillage ou de filets

Ce type d'ouvrage permet de stopper la propagation de pierres ou de petits blocs peu énergétiques, en crête de talus ou en pied de versant. Les filets sont fixés sur des câbles tendus entre des poteaux. La hauteur de la barrière varie de 1,5 à 5 m. Une étude trajectographique peut être nécessaire pour déterminer leur emplacement et leur capacité.

*Observation le long de la route à Montclus (Hautes-Alpes)*



Source : BRGM



## Merlon

Cette parade passive a pour but de stopper la propagation des blocs ou des masses de grande dimension se propageant dans un versant avec des énergies très importantes. Le parement amont constitué de pneus, de bois ou de blocs absorbe l'énergie. Ce type de parade ne peut pas être mis en œuvre sur des versants trop raides et peut nécessiter de reprofiler le terrain.

*Merlon pare-blocs à l'Argentière-la-Bessée (Hautes-Alpes)*



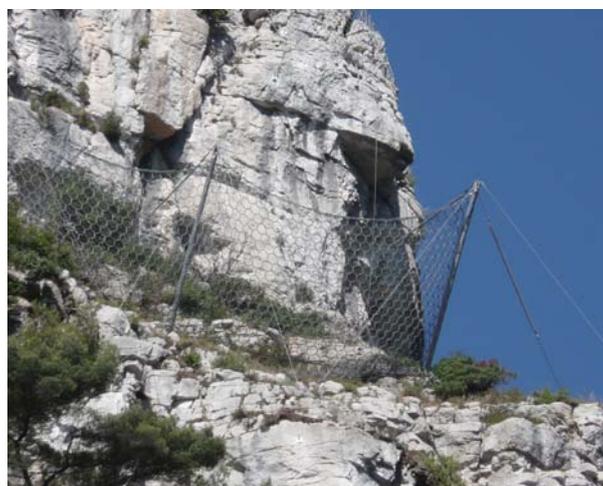
Source : ONF - service RTM05



## Écran déformable de filets

La déformation des filets absorbe une partie ou la totalité de l'énergie cinétique des blocs rocheux, freinant ou stoppant ainsi leur propagation. Ces écrans sont capables d'absorber de fortes énergies cinétiques. Ils peuvent être utilisés lorsque les contraintes topographiques ou économiques excluent la réalisation d'un merlon (fortes pentes).

*Écran déformable le long de la N 202, Alpes-Maritimes*



Source : BRGM



Autres parades passives pouvant être mises en place pour empêcher la propagation des éléments rocheux :

- **déviateur latéral** : modifie la trajectoire des blocs vers une zone sans enjeux ou vers un ouvrage de réception ;
- **dispositif amortisseur** : dispositif déformable destiné à amortir les chocs causés par les blocs sur les ouvrages rigides en encaissant une partie de l'énergie dynamique ;
- **boisement** : les chocs des blocs contre les arbres entraînent leur décélération, voire leur arrêt et diminue les rebonds [PO8].



**Maintenance/gestion** : tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection (cf. *Guide Technique Maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses - Pathologie et gestion des ouvrages - LCPC*). Exemple de gestion de parades [PO7].





# Mesures de protection contre les instabilités rocheuses - parades actives

*Les parades actives consistent à éviter que le phénomène se manifeste en supprimant les masses rocheuses, en les fixant ou en évitant leur altération.*

## Purge

La purge consiste à éliminer les pierres, blocs et masses les plus instables. Les techniques employées sont généralement "douces" pour éviter de créer de nouvelles instabilités. Leur mise en œuvre nécessite des équipes spécialisées. C'est une technique efficace à court terme seulement qui doit être renouvelée périodiquement.



Source : ONF - RTM 06

## Reprofilage

Le reprofilage consiste à modifier le profil d'un talus ou d'un versant rocheux en supprimant les volumes rocheux potentiellement instables (chandelles, écailles, surplombs marqués, etc.). Les techniques utilisées sont variées (marteau perforateur, écarteurs hydrauliques, pelle mécanique, minage, etc.). Il faut disposer à l'aval d'une zone de réception adaptée.

*Reprofilage de la pente par minage (Bouyon, Alpes-Maritimes)*



Source : ONF - RTM 06

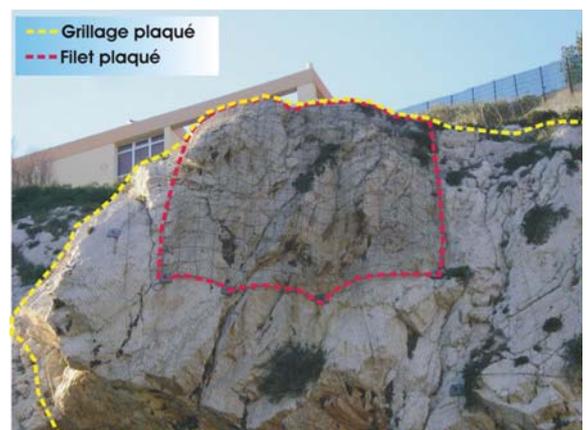
## Soutènement

Il s'agit d'une structure massive consistant à maintenir en place une masse instable bien délimitée. C'est la solution retenue lorsqu'il apparaît difficile de purger ou d'ancrer la masse instable. Ce sont des ouvrages qui peuvent être très coûteux en fonction de leur taille et de leur complexité et généralement peu esthétiques.

*Contreforts en béton (Gorges du Cians, Alpes-Maritimes)*



Source : BRGM



*Filet et grillage plaqué (Marseille, Bouches-du-Rhône)*

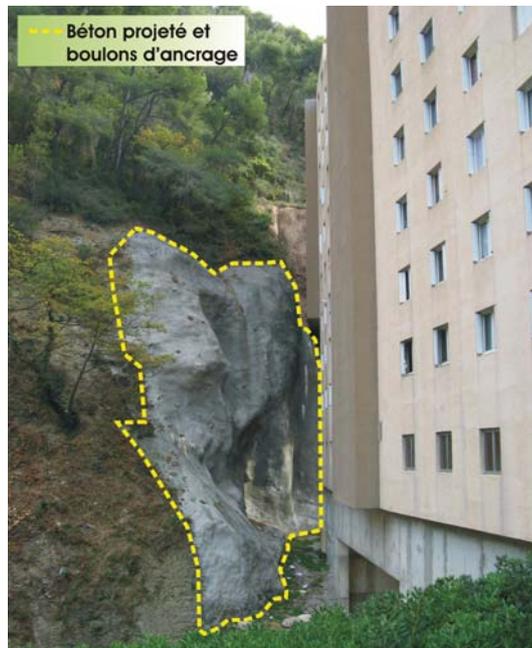
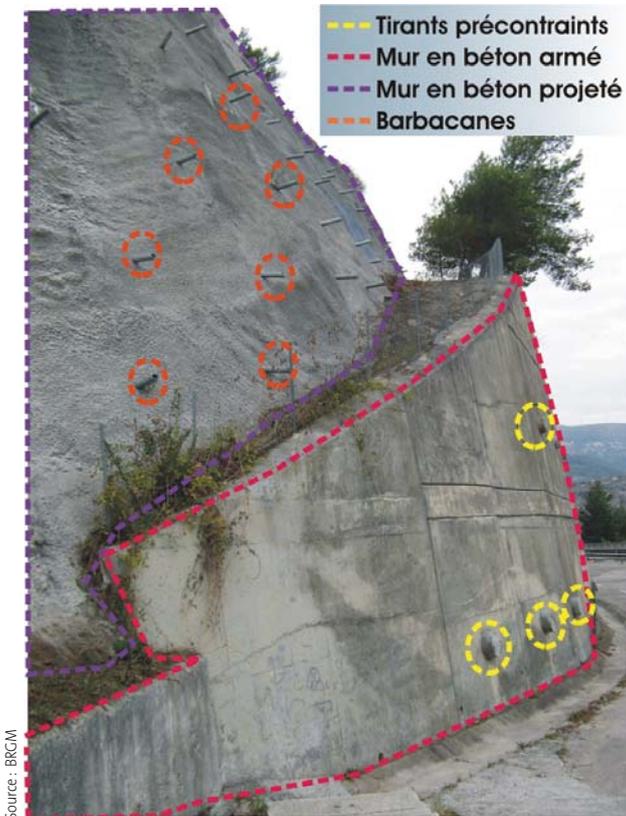
Source : BRGM

## Filets et grillages plaqués

Constitué par une nappe de filets ou de grillages plaqués contre le rocher, ce type de protection a pour but d'éviter tout départ de blocs ou de pierres. Les filets plaqués sont utilisés en stabilisation locale de masse (emmaillotage) ou pour traiter des surfaces plus vastes. Ils ne protègent pas contre les éboulements en masse.

## Béton projeté

Ce dispositif de protection consiste à projeter à la surface d'une paroi rocheuse ou d'un talus, protégés ou non par un grillage ou un treillis soudé, une coque de béton. Le béton projeté (appelé également "gunitage") est utilisé en protection sur les talus rocheux très fracturés, en consolidation de talus dans les alternances de couches dures et tendres, en travaux souterrains. Il lui est généralement associé un dispositif de drainage.



Plusieurs types de protections observables sur l'affleurement : béton projeté, grillage plaqué et boudins d'ancrage (observés dans les Alpes-Maritimes)

## Ancrages

Les ancrages peuvent être de 2 types : soit passifs, soit actifs [PO2]. Les ancrages sont utilisés pour stabiliser des blocs individualisés, pour conforter des talus rocheux, pour amarrer les grillages ou les filets, etc.

## Ouvrages complexes

Parfois, les instabilités peuvent être combinées : à la fois instabilités de type glissement et rocheuses. Il est nécessaire alors de mettre en place plusieurs types d'ouvrages de protection sur le versant instable.



Dispositifs de stabilisation du pied de versant le long de l'A8 dans les Alpes-Maritimes



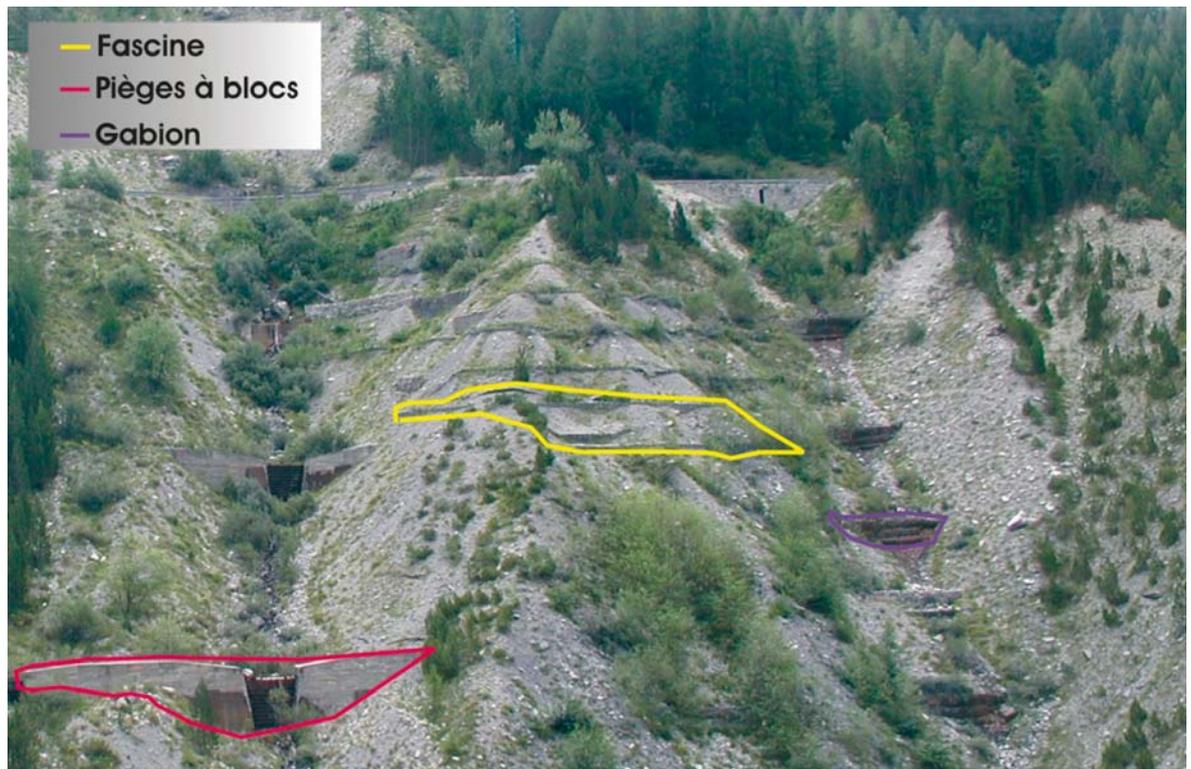
**Maintenance/gestion** : tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection (cf. Guide Technique Maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses - Pathologie et gestion des ouvrages - LCPC). Exemple de gestion de parades [PO7].



# Mesures de protection contre les coulées

*Les dispositifs de protection contre les coulées visent à empêcher le déclenchement du phénomène, réduire son ampleur, le dévier, le canaliser ou l'arrêter avant qu'il n'atteigne les enjeux.*

Les processus hydrologiques de ruissellement jouent un rôle primordial dans le déclenchement des phénomènes de coulées : coulées de boue, charriage, ravinement... Afin de lutter contre les phénomènes de coulées, il faut limiter le ruissellement de surface et arrêter/ralentir la propagation des matériaux solides déplacés par les écoulements de surface.



Source : ONF-RTM 06

Dispositifs de protection contre le ravinement et les charriages torrentiels à Entraunes (Alpes-Maritimes). Des barrages en pierres maçonnées ou en gabions sont placés dans les ravines afin de recentrer l'écoulement des crues, limiter l'afouillement des berges et laminar les laves torrentielles. Les fascines, en créant artificiellement des petites terrasses favorisent l'implantation de la végétation.



Source : ONF-RTM 06



Source : ONF-RTM 06

Illustration de deux types d'ouvrages de protection contre l'érosion sur la commune d'Auron (Alpes-Maritimes) : mur cellulaire en rondin de bois placé en pied de talus et disposition de fascines sur les ravines afin de ralentir l'érosion des marnes par les eaux de ruissellement.



**Maintenance/gestion** : tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection.

## Lutte contre les coulées de boue : reboisement des versants exposés au ravinement mené par les services de restauration des terrains de montagne (RTM)



La végétalisation consiste à établir ou reconstituer un couvert végétal herbacé ou arbustif dans un talus/versant couvert de terrains meubles. Le but est de limiter l'érosion superficielle, liée au gel-dégel et aux eaux de ruissellement. Un vaste programme de reboisement des massifs alpins, ayant subi une déforestation au 19<sup>e</sup> siècle pour les besoins agricoles, fût mené par les services de restauration de terrains de montagnes au siècle dernier. Ces travaux permirent de lutter efficacement contre les processus d'érosion des pentes, mécanismes favorisant la formation de phénomènes de type coulées.

Source : ONF – Service RTM05



Jarjayes 1902 (Hautes-Alpes)



Jarjayes 2004



Source : ONF – Service RTM05



Freissinières 1976 (Hautes-Alpes)



Freissinières 2006



Source : ONF



Mont Ventoux 1902 (Vaucluse)



Mont Ventoux 2004





# Mesures de protection contre les effondrements et affaissements

*Pour se protéger des phénomènes d'affaissement/effondrement, des mesures de confortement des cavités souterraines peuvent être réalisées : remblaiement total ou partiel de la cavité, protection des parois/piliers des cavités souterraines contre l'altération, renforcement par pilier...*

## Remblaiement total

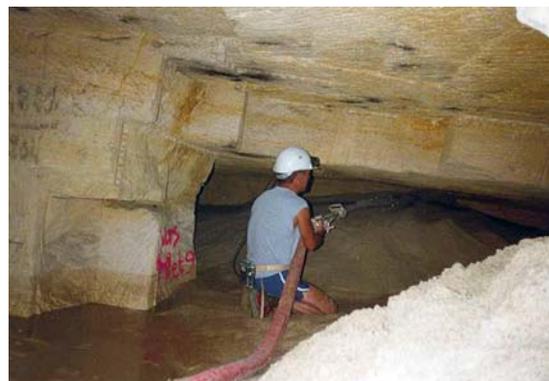
**Principe** : supprimer l'essentiel du vide souterrain par mise en place de matériaux sans liant hydraulique (déblais, terre, sable...(réservé essentiellement aux cas où les enjeux en surface ne sont pas sensibles aux tassements différentiels)).

Cela peut se faire :

- **Par engins mécaniques (bulldozers) si accès** : matériau amené, ou déversé par puits et repris ensuite.
- **Par déversement gravitaire ou par injection à la lance** :
  - Voie humide : sable + eau de transport, forages diam 100 à 200 mm tous les 10 m ;
  - Voie semi-humide : 50 % terre + 50 % eau, puits gros diam (0,7 à 1 m) tous les 20 m ;
  - Voie sèche puits diam 100 à 400 mm, à distance réduite.



Source : BRGM



Source : BRGM

*Injection d'un mélange de sable et d'eau (facilitant le transport) dans la cavité. Le mur en parpaing a pour rôle de contenir le sable injecté dans la cavité tout en laissant circuler l'eau.*



## Remblaiement partiel

**Principe** : remplir certaines zones du vide, sous construction par exemple, par matériaux avec liant hydraulique (résistance mécanique accrue (4 à 5 MPa)).

## Protection des parois contre l'altération

**Principe** : en cas de parois constituées de matériau sensible à l'altération (réductions naturelles de leurs caractéristiques mécaniques) : projection de béton projeté (protection + renforcement).



## Consolidation par plots en coulis à fort angle de talus naturel injecté depuis la surface

**Principe** : création d'appuis supplémentaires réduisant la portée du toit de la cavité. Ces plots rigides jouent le rôle de nouveaux piliers.

**Utilisation** : quand on veut garder l'usage d'une cavité et que la réalisation de piliers depuis l'intérieur de la cavité n'est pas possible.

## Protection des piliers contre l'altération

**Principe** : la protection des piliers contre la desquamation (qui amène à la rupture à plus ou moins long terme par réduction de la section du pilier) se fait traditionnellement par du béton projeté drainé.



## Renforcement par piliers

**Principe** : transmettre au plancher de la cavité le poids des terrains et des surcharges éventuelles (surface piliers représentant 20 % de la surface à protéger). Cela suppose que l'on ait accès dans de bonnes conditions de sécurité au secteur à conforter. Cette solution de confortement est inadaptée pour des cavités dans le gypse ou dans des formations soumises à une dissolution évolutive.



Source : BRGM



## Boulonnage du toit

**Principe** : armer la masse rocheuse du toit, pour la rendre capable de reporter le poids des terrains sur les piliers et rendre le toit monolithique (bancs horizontaux) et empêcher le mouvement des diaclases [glossaire].

*Cathédrale d'images  
des Baux-de-Provence  
(Vaucluse)*



Source : BRGM



**Maintenance/gestion** : tout ouvrage de protection et/ou de stabilisation doit faire l'objet de visites périodiques et d'inspections détaillées suivies de corrections en cas d'anomalies relevées, que ces dernières soient dues à une évolution de type vieillissement normal ou à des sollicitations en rapport avec le type de phénomène justifiant la présence de l'ouvrage de protection.



# La gestion des parades : exemple de gestion des ouvrages de protection des falaises dans les Hautes-Alpes

Le conseil général des Hautes-Alpes a mis en place un outil de gestion et de programmation d'entretien et de réparation des ouvrages de protection des falaises (O.P.F.). Ce travail a consisté d'une part à recenser les ouvrages existants (1<sup>ère</sup> phase = connaître le patrimoine des parades) et d'autre part à effectuer un diagnostic de leur état et de la pertinence de leur dimensionnement (2<sup>ème</sup> phase = connaître l'état précis des ouvrages).

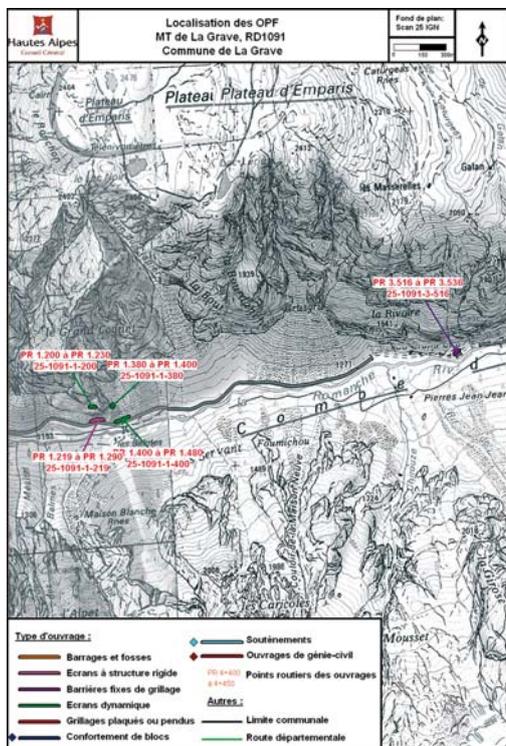


## PHASE 1 : Recensement des ouvrages de protection des falaises présents sur le département

Chaque ouvrage de protection des falaises (O.P.F.) est visité sur le terrain. Ses coordonnées géographiques sont relevées, et ses caractéristiques décrites à l'aide d'une fiche de recensement.

Chaque fiche comprend les volets suivants :

- conditions de la visite (météo, matériel nécessaire, accessibilité...);
- données générales (coordonnées de l'ouvrage);
- environnement / enjeu : O.P.F. situé en pied de talus, en versant; habitations...;
- description de l'ouvrage : gestionnaire/propriétaire; parades passives : écrans/filets...; parades actives : confortement/ suppression de masse...;
- données complémentaires : structure/géométrie;
- état de l'ouvrage : type de désordre, état général (bon, moyen, mauvais, très mauvais, inopérant), travaux à envisager;
- photos de l'ouvrage;
- carte de localisation.



**P.V. DE RECENSEMENT D'O.P.F.**  
Campagne 2009

**Hautes Alpes Conseil Général**

**Conditions de la visite**

Date: 2009

Conditions météo: \_\_\_\_\_

Matériel nécessaire: \_\_\_\_\_

Accessibilité:  Sans équipement spécial  Cordée

Effectuée par: \_\_\_\_\_

**DONNEES GENERALES**

Ouvrage: \_\_\_\_\_ N° identification: \_\_\_\_\_

RD: \_\_\_\_\_ PR début: \_\_\_\_\_ PR fin: \_\_\_\_\_

Élévation/RD (m): \_\_\_\_\_ GPS début: \_\_\_\_\_ E: \_\_\_\_\_ N: \_\_\_\_\_ GPS fin: \_\_\_\_\_ E: \_\_\_\_\_ N: \_\_\_\_\_

Commune(s): \_\_\_\_\_ Lieu-dit: \_\_\_\_\_

Altitude (m NGF): \_\_\_\_\_ Linéaire protégé (mi): \_\_\_\_\_

Risque: \_\_\_\_\_

**ENVIRONNEMENT - ENJEUX ET VULNERABILITE**

OPF situé:  En pied de talus  En versant  En amont  En aval

Morphologie:  Talus-falaise à l'aplomb + versant + falaise déportée  Versant + falaise déportée  Talus-falaise à l'aplomb

Piste d'accès:  OUI  NON

Habitations:  OUI  NON

Déviations possibles:  OUI  NON > 30 km  OUI  NON

Description du site - Nature géologique du talus

**DESCRIPTION DE L'OUVRAGE**

Foncier	Maitre d'ouvrage	Gestionnaire	Propriétaire
<b>Types et sous-types d'ouvrage</b>			
<b>PASSIFS</b>		<b>ACTIFS</b>	
1. Barrages et fosses	8. Confortement		
1.1. <input type="checkbox"/> Merion	8.1. <input type="checkbox"/> Ancrages passifs (crous)		
1.2. <input type="checkbox"/> Fosse	8.2. <input type="checkbox"/> Ancrages actifs (trants)		
1.3. <input type="checkbox"/> Merion + fosse	8.3. <input type="checkbox"/> Câblage		
1.4. <input type="checkbox"/> Déviateur	8.4. <input type="checkbox"/> Emmaillottage		
2. Ecrans à structure rigide	8.5. <input type="checkbox"/> Béton projeté		
2.1. <input type="checkbox"/> Echelle de perroquets	9. Soutènement		
2.2. <input type="checkbox"/> Gabions	9.1. <input type="checkbox"/> Butons		
2.3. <input type="checkbox"/> G.S.A.	9.2. <input type="checkbox"/> Contrefort		
2.4. <input type="checkbox"/> Mur	9.3. <input type="checkbox"/> Pile		
2.5. <input type="checkbox"/> Blocs béton	9.4. <input type="checkbox"/> Soutènement métallique		
2.6. <input type="checkbox"/> Rondins de bois	10. Nappe plaquée		
3. Barrières ou écrans peu déformables	10.1. <input type="checkbox"/> Grillage plaqué		
3.1. <input type="checkbox"/> Barrière de grillage	10.2. <input type="checkbox"/> Filet plaqué		
3.2. <input type="checkbox"/> Barrière de filet (cl. 1 à 2)	11. Suppression de masse		
3.3. <input type="checkbox"/> Barrière de filet (cl. 3 à 4)	11.1. <input type="checkbox"/> Purgé		
4. Ecrans déformables	11.2. <input type="checkbox"/> Minage		
4.1. <input type="checkbox"/> Ecran freiné (cl. 5 à 9)	11.3. <input type="checkbox"/> Reprofilage		
5. Nappes pendus	11.4. <input type="checkbox"/> Talus avec rbsbermes		
5.1. <input type="checkbox"/> Grillage perdu ancré en tête	12. Végétalisation		
5.2. <input type="checkbox"/> Grillage perdu sur poteaux	12.1. <input type="checkbox"/> Avec grillage et/ou géotextile		
5.3. <input type="checkbox"/> Filet perdu ancré en tête	12.2. <input type="checkbox"/> Avec banquettes et/ou fascines		

DIT - SMCE Mise à jour avril 2009 1/3

Source : Conseil Général des Hautes-Alpes

## PHASE 2 : Diagnostic et entretien/travaux des ouvrages

Cette phase consiste à réaliser une inspection détaillée de chaque ouvrage, chaque paramètre est enregistré dans une fiche détaillée. À partir de la fiche, trois indices sont attribués :

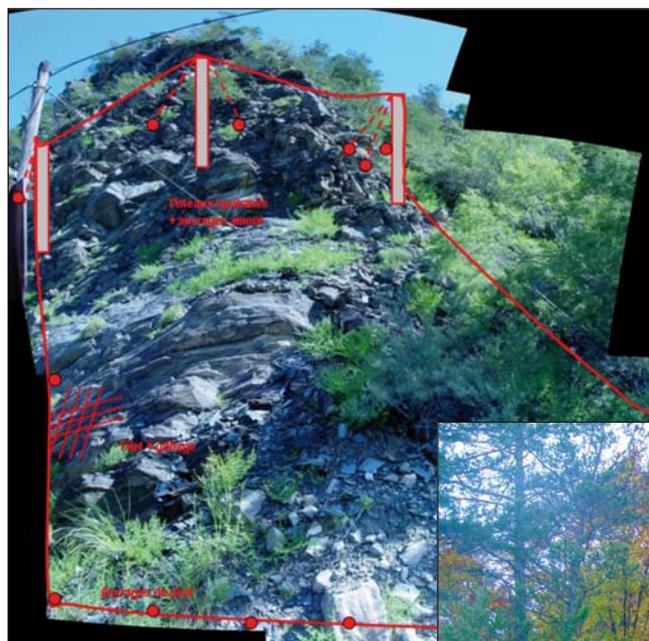
- Indice de gravité global : dépend de l'état de l'ouvrage, de l'environnement de l'O.P.F., des pathologies observées ;
- Indice fonctionnel : dépend de l'importance de l'ouvrage : localisé sur une route départementale, déviation ? Aire de stationnement sous-jacente ?...
- Indice de programmation : déterminé à partir des 2 premiers indices : quels types de travaux à envisager et à quel terme ?

Les travaux sont ensuite programmés : type de parade adaptée et secteurs à traiter prioritairement.

ETAT GENERAL DE L'OUVRAGE		NOTE			
Récapitulatif des sous-indices de gravité					
IG <sub>1</sub>	Environnement de l'OPF	2 /3			
IG <sub>2</sub>	Pathologie de l'OPF commune à tous les types	1 /5			
IG <sub>3</sub>	Pathologie de l'OPF propre à chaque type	1 /5			
NOTE		2 /5			
Indice de gravité global (IGG)					
NOTE		4,78 /20			
Etat de l'ouvrage	MOYEN	MAUVAIS	DEFAILLANT	INOOPERANT - RUINE	
IG	1	2	3	4	5
IGG	0 à 4	4 à 8	8 à 12	12 à 16	16 à 20
IMPORTANCE DE L'OUVRAGE - INDICE FONCTIONNEL (IF)					
Catégorie de la Route Départementale - IF <sub>1</sub>					
Grand Axe Economique (GAE)	5				
Réseau d'intérêt Touristique Majeur (RTM)	4				
Réseau Primaire Périurbain (RPP)	3				
Réseau de Désenclavement du Milieu Rural (RDMR)	2				
Réseau Secondaire à Vocation Touristique Saisonnière (RSVTS)	1				
Réseau Secondaire de Desserte Locale (RSOL)	0				
Dérivée	0				
Catégorie de la RD - IF <sub>1</sub>	5				
Déviation - IF <sub>2</sub>					
Déviation impossible avec contrainte de desserte locale	2				
Déviation impossible sans contrainte particulière	1				
10 km <= L <= 30 km	0,5				
L <= 10 km	0				
Plus-value déviation impossible PL ébou transport sociale	0,5				
Déviation - IF <sub>2</sub>	1				
Stationnement - Aire - IF <sub>3</sub>					
Présence d'une zone de stationnement, d'un parking ou d'une aire d'arrêt signalisée	1				
Présence d'un déviateur pouvant servir d'arrêt ou de stationnement	0,5				
Présence d'un arrêt de car	0,5				
Absence de stationnement, d'arrêt possible dans la zone menacée	0				
Stationnement - Arrêt - IF <sub>3</sub>	1				



Fiche détaillée de l'état de l'ouvrage de protection, remplie sur le terrain



Proposition de parades adaptées au type d'instabilité rocheuse sur les zones jugées prioritaires



Réalisation des travaux





# Axe de recherche : le rôle des forêts de montagne dans la protection des instabilités rocheuses

*En montagne, la forêt peut être une barrière de protection efficace contre les risques naturels. Des travaux de recherche visant à mieux comprendre puis maîtriser son effet protecteur (interactions entre espaces forestiers et aléas) sont menés par le Cemagref (implantation grenobloise).*



Afin de mieux évaluer le rôle de protection joué par les forêts d'altitude, des travaux de modélisation de chutes de blocs à travers les peuplements forestiers ont été réalisés. À l'issu de ces travaux, un logiciel a été conçu : Rockfor.NET. Il permet un diagnostic rapide de l'effet protecteur de la forêt vis-à-vis des chutes de blocs à l'échelle d'un versant.

## 1. Réalisation d'expériences grandeur nature de chutes de blocs en milieu forestier

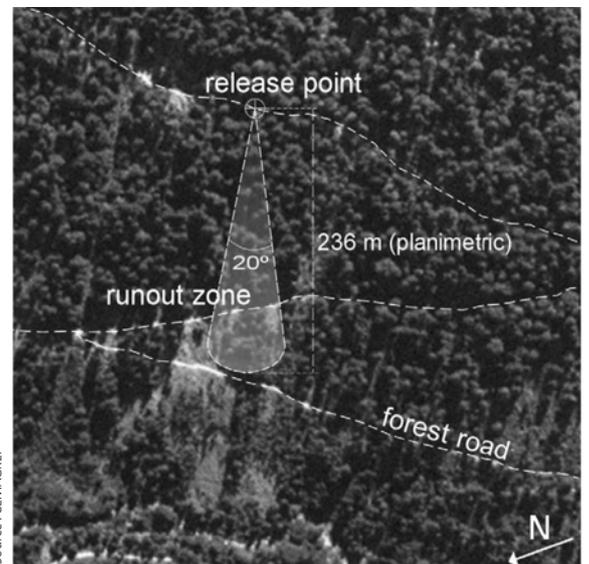
### Mode opératoire :

À l'aide d'une pelle mécanique, une centaine de blocs est effectuée sur deux types de site : un site non boisé et un site boisé (sapin, épicéa, hêtre, érable). Le volume unitaire moyen des éléments rocheux est de 1 m<sup>3</sup>, le volume maximum ne dépassant pas 5 m<sup>3</sup>.

Chaque lancé est filmé, et chaque impact relevé et cartographié. À partir de ces mesures la trajectoire des blocs est tracée sur ordinateur et analysée (vitesse, hauteur de passage sur les arbres).

### Exploitation des résultats :

À partir de ces résultats trois types d'impacts ont été distingués : impact frontal, latéral ou frôlé (scratch). Les résultats de ces expériences ont permis le calibrage et la validation de modèles de simulations informatiques : propagation des blocs à terrain nu, simulation de l'effet protecteur d'un arbre, d'un peuplement homogène et d'une forêt constituée de plusieurs types de peuplement (plusieurs essences, différentes valeurs des paramètres dendrométriques). Seules les trajectoires de blocs rocheux individualisés sont simulées. Avec ces simulations, l'extension de la zone en danger peut être approchée (ou estimée).



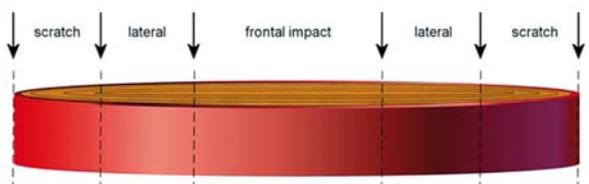
Source : CEMAGREF

Localisation du site boisé, du point de lâcher des blocs et de la piste forestière.



Source : CEMAGREF

Photo du bloc n°33 arrêté par un petit arbre et ce après plusieurs impacts avec des arbres



Source : CEMAGREF

Exemple de définition sur le site des types d'impact sur un arbre et définition des types d'impact



## 2. Création d'un outil de diagnostic rapide de la protection offerte par la forêt à l'échelle d'un versant : le logiciel Rockfor.NET

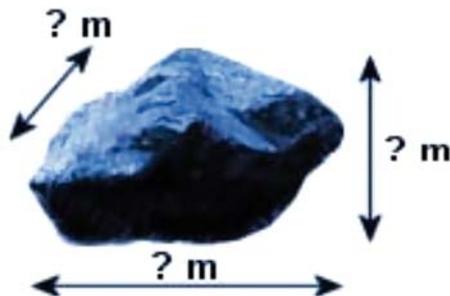
L'outil Rockfor.NET permet à chaque utilisateur d'évaluer l'aléa résiduel probable de chutes de blocs à l'aval d'une forêt. L'aléa résiduel étant défini comme le pourcentage de blocs en mesure de franchir une zone boisée.

Le logiciel est gratuitement et publiquement accessible sur internet <http://www.rockfor.net>.

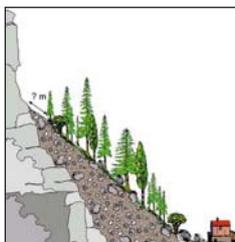


Quatre principales étapes sont à définir :

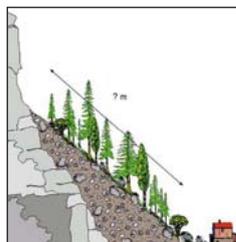
### 1 - Description du projectile (forme, nature géologique, dimensions)



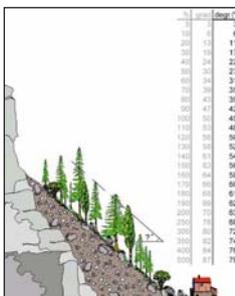
### 2 - Description du versant (topographie)



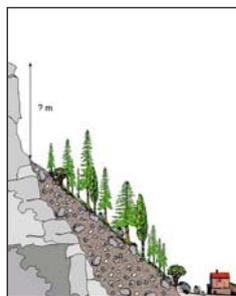
Hauteur de falaise



Longueur de la zone boisée



Pente moyenne



Distance entre le point de chute des blocs et la limite supérieure de la forêt

ecorisQ  
Chutes de blocs, glissements de terrain, avalanches et forêt de protection

À PROPOS DE NOUS | SERVICES | Rockfor.NET | Rockfor3D | CONTACT

Cemagref  
Deutsche Version  
English version  
Versione italiana

Dernière mise à jour : 22/2/2009

Rockfor.NET donne une estimation de l'aléa résiduel probable de chutes de pierres (ARP) à l'aval d'une forêt. L'ARP est le pourcentage des blocs sortant de l'écran forestier. Pour une pente donnée le calcul de l'ARP nécessite de remplir le formulaire ci-dessous. Le point (.) doit être utilisé comme séparateur décimal.

Les principes et modes de calcul à la base sont présentés ici. N'hésitez pas à nous contacter pour nous faire partager vos critiques ou questions.

Description du projectile		
Diamètres du bloc (3x) (schéma)	<input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> <input type="text" value="1"/> m	
Géologie	<input type="text" value="Granite"/>	-
Forme du bloc	<input type="text" value="Sphere"/>	-

Description du versant		
Pente moyenne en degrés (schéma)	<input type="text" value="38"/>	°
Hauteur max. de la falaise (schéma)	<input type="text" value="10"/>	m
Longueur de la zone boisée (schéma)	<input type="text" value="250"/>	m
Distance d'entrée dans la zone boisée (schéma)	<input type="text" value="0"/>	m

Description de la zone boisée		
Nbr. d'arbres à l'hectare	<input type="text" value="300"/>	ha <sup>-1</sup>
Surface terrière totale (G <sub>tot</sub> )	<input type="text" value="30"/>	m <sup>2</sup> ha <sup>-1</sup>
OU		
Diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP)	<input type="text" value="0"/>	cm
Répartition des essences présentes :		
- Epicéa ( <i>Picea abies</i> )	<input type="text" value="13"/>	%
- Sapin ( <i>Abies alba</i> )	<input type="text" value="57"/>	%
- Mélèze ( <i>Larix decidua</i> )	<input type="text" value="0"/>	%
- Pin noir ( <i>Pinus nigra</i> )	<input type="text" value="0"/>	%
- Pin sylvestre ( <i>Pinus sylvestris</i> )	<input type="text" value="0"/>	%
- Erable ( <i>Acer pseudoplatanus</i> )	<input type="text" value="7"/>	%
- Hêtre ( <i>Fagus sylvatica</i> )	<input type="text" value="23"/>	%
- Robinier faux-acacia ( <i>Robinia pseudoacacia</i> )	<input type="text" value="0"/>	%
- Chêne ( <i>Quercus robur</i> )	<input type="text" value="0"/>	%

Calcul de l'aléa résiduel probable de chutes de pierres

Aléa résiduel probable = **0 %**

Peuplement théorique pour un ARP < 1% :  
Densité = **0 - arbres par ha**  
Diamètre moyen = **- cm**

Données utilisées pour le calcul  
Diamètre du bloc = 0 m  
Volume du bloc = 0 m<sup>3</sup>  
Densité du rocher = 0 kg m<sup>-3</sup>  
Masse du bloc = 0 kg  
Energie cinétique = 0 kJ  
DHP = 0 cm  
Distance maximale = 0 m



### 3 - Description de la zone boisée (densité d'arbres, répartition des essences)

### 4 - Calcul de l'aléa résiduel probable de chute de blocs



La forêt peut jouer un rôle de protection dans de nombreuses situations, action favorisée par une gestion adaptée du couvert forestier. Néanmoins, la forêt ne peut être considérée comme un ouvrage de protection pour générer de la construction.



# V Mouvements de terrain marquants en Provence-Alpes-Côte d'Azur



EM.1



Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Bouches-du-Rhône

EM.2



Quelques événements mouvements de terrain marquants dans le Vaucluse

EM.3



Quelques événements mouvements de terrain marquants dans le Var

EM.4



Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Alpes-Maritimes

EM.5



Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Alpes de Haute-Provence

EM.6



Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Hautes-Alpes



Résumé au verso ▶

# V Les mouvements de terrain marquants en Provence-Alpes-Côte d'Azur



Éboulement dans les Calanques, glissement de terrain à Vauvenargues, effondrement à l'aplomb de formations gypseuses à Roquevaire, coulées boueuses à Marseille, les mouvements de terrain ne sont pas rares sur le département des Bouches-du-Rhône.

*Calanques des "Pierres tombées" après l'éboulement de 2006*

Éboulement sur la commune de Bonnieux en 1921, glissement de terrain à Caseneuve en 1863, les archives relatent ce type d'événements sur le Vaucluse, mais plus aujourd'hui, ce sont les effondrements (Gargas, 1994, 1995), les coulées de boue ou encore les phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux qui touchent le département.



*Fissuration sur sol argileux*



Tourrettes, 27 décembre 1987 : formation d'un trou profond de 45 m et de 30 m de diamètres, Bargemon, 22 août 1992 : même phénomène sur 80 m de diamètre et 15 m de profondeur. Sur le littoral varois, ce sont les chutes de blocs ou les glissements des terrains superficiels qui sont les plus fréquents (Corniche du Cap Brun, falaise du Cap Sicié).

*Vue du "trou" formé suite à l'effondrement induit par la dissolution du gypse dans les formations géologiques du Trias (source DDTM 83)*

Glissement Roquebillière en novembre 1926, Entraunes en 1960, éboulements rocheux à répétition le long des tronçons routiers : vallée de la Tinée, route de Castérino... Les événements mouvements de terrain sont nombreux et de dimensions parfois très étendues sur les Alpes-Maritimes.



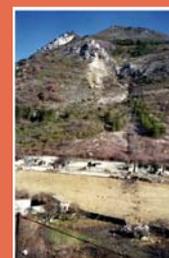
*Photographie du glissement 1 an après, en septembre 1927*



*Vue de dessus du glissement du Villard-des-Dourbes (2003)*

Glissement de terrain du Villard-des-Dourbes, éboulement sur la route du Col de Larche en 2001, coulées boueuses à Annot en 1996, les Alpes de Haute-Provence sont touchées par les mouvements de terrain concentrés principalement sur les zones de relief.

*Cicatrice laissée sur les terrains traversés par les blocs rocheux (Veynes, 1996)*



Éboulements récurrents, glissements de terrain dans les formations marneuses, le département des Hautes-Alpes de part son relief et sa géologie variée est loin d'être épargné par les mouvements de terrain.





# Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Bouches-du-Rhône

*La plaine alluviale du Rhône partage le département en deux. Relief planaire à l'ouest, et Provence calcaire à l'est, au relief plus marqué bien que modéré. Les mouvements de terrain sont concentrés sur cette deuxième moitié. Ils sont de nature diverse : effondrement à l'aplomb des formations gypseuses, glissements de terrain dans les formations meubles, coulées de boue ou encore éboulements rocheux, particulièrement fréquents le long des falaises côtières bordant le massif des Calanques et de la Côte Bleue.*



## Éboulement dans la calanque des Pierres Tombées (Marseille)



Le dimanche 5 février 2006, en pleine journée, des blocs rocheux se détachent de la falaise de la "calanque des Pierres Tombées" dans le massif des Calanques de Marseille, faisant une victime. La falaise formée de bancs calcaires et de bancs marneux est sous-cavée à son pied (altération des marnes qui induit une mise en surplomb des bancs calcaires). L'éboulement s'est produit par déstabilisation de la masse en surplomb.



Source : BRCM

Calanques des "Pierres tombées" suite à l'éboulement



À la Une de la Provence, le 6 février 2006

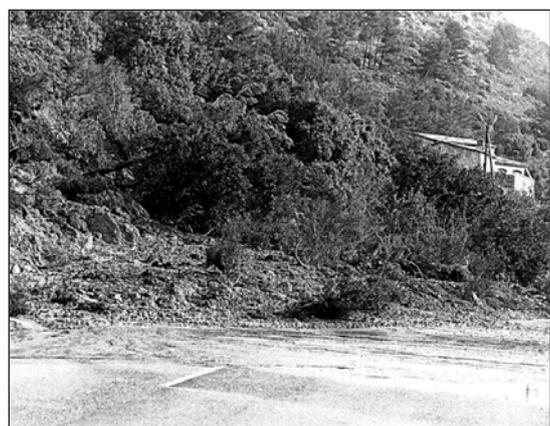
Les bancs calcaires se sont fragmentés en blocs de plusieurs mètres cubes.



## Glissements de terrain sur la commune de Vauvenargues



En janvier 1978, des glissements de grande extension se sont produits sur la commune de Vauvenargues. Suite à de fortes précipitations, les terrains meubles couvrant les pieds de versant (couvert de colluvions argileuses) se sont gorgés d'eau, et ont glissé sur plusieurs mètres, provoquant des dégâts sur les habitations, voiries, véhicules. En 1996, le même phénomène se reproduisit mais sur des surfaces plus réduites.



Source BDWVT

Le glissement de 1975



Le glissement de 1996



## Effondrements récurrents sur la commune de Roquevaire

Plusieurs effondrements se sont produits sur la commune : 1970, 1971, 1990, 1998, 1999, 2004, 2005. De dimensions variables (l'effondrement de 1971 forma un trou de 50 m de diamètre et de 15 m de profondeur), ils peuvent causer de sérieux dégâts en surface. Les galeries d'une ancienne carrière souterraine exploitant le gypse sur 3 niveaux jusque

dans le milieu des années 1960, forment des cavités dont le toit et les piliers peuvent s'effondrer. Deux ans après l'effondrement de 2005 eut lieu un glissement de terrain provoqué par "l'appel au vide" des formations de pentes vers le trou.



Source : INERIS

Effondrement de 2005



Source : BRCM

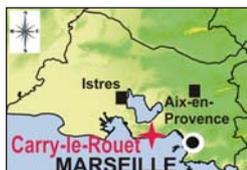
Galeries souterraines de l'ancienne plâtrière



Source : INERIS

Glissement de terrain en 2007 suite à l'effondrement de 2005

## Éboulement rocheux à Carry-le-Rouet en février 2008



Le 13 février 2008, à 10 heures du matin, un éboulement rocheux se produisit sur la commune de Carry-le-Rouet. Deux parcelles privées surplombant la falaise furent endommagées. Entre 400 et 600 mètres cubes de rochers sont tombés. Ce type de phénomène n'est pas rare sur le littoral rocheux de la Côte Bleue, les falaises en bordure de mer présentant de nombreux surplombs sont fragilisées par une fracturation arrière dense.



Source : BRCM

Cicatrice laissée par l'éboulement de 2008 bien visible dans le paysage.

## Coulées de boue à Marseille en octobre 2009



Les 20 et 21 octobre 2009 de fortes précipitations eurent lieu sur Marseille. Or les versants des massifs, dénudés de végétation suite à un récent incendie, ont formé des surfaces favorables au ruissellement.



© puck - Fotolia.com

Voitures ensevelies par la coulée boueuse dans le quartier de Saint-Loup à Marseille

Sous l'effet de la saturation en eau et du ruissellement, les matériaux meubles de recouvrement ont donné lieu à des coulées de boue guidées par les talwegs aux débouchés desquels une cinquantaine d'habitations ont été endommagées.





# Quelques événements mouvements de terrain marquants dans le Vaucluse

*Si les éboulements rocheux et glissements de terrain se produisent ponctuellement sur le département, les phénomènes de type coulées de boue, affaissement et effondrement sont quant à eux, plus fréquents. Ces événements, parfois de grande ampleur, peuvent occasionner de sérieux dégâts.*



## Éboulement sur la commune de Bonnieux en 1921



Vue du village de Bonnieux

Dans la nuit du 24 au 25 août 1921, un éboulement de plusieurs tonnes de roche s'est produit sur la commune de Bonnieux, provoquant la destruction de trois immeubles, et la mort de deux personnes et six chevaux. Le journal "Le courrier du Midi" rapporte les événements de cette nuit.

Extrait "Le courrier du Midi", 28 août 1921

**La catastrophe de Bonnieux**

Dans la nuit du 25 au 26 août, trois immeubles se sont écroulés à Bonnieux, sous le poids d'un énorme rocher qui, sous l'action des dernières pluies, s'est détaché de la montagne.

Deux personnes et six chevaux sont restés ensevelis sous les décombres. Des secours demandés d'urgence à la Préfecture d'Avignon ont été immédiatement envoyés et ont procédé au déblaiement.

D'autres rochers menaçant de se détacher aussi, les maisons avoisinantes ont dû, par mesure de prudence, être évacuées.

Il est possible que, pour prévenir une nouvelle catastrophe, le détachement du génie envoyé sur les lieux, fasse sauter à la dynamite ces rochers menaçants.



© provence-luberon-news.com



## Glissement de terrain (ou coulée de boue) sur la commune de Caseneuve en 1863



Caseneuve by JM Rosier

Le "Mercure aptésien" rapporte la catastrophe de janvier 1863 : "Au dehors le pays offrait le spectacle d'un véritable cataclysme. Sur une étendue d'un kilomètre environ, le terrain s'effondrait ou s'entr'ouvrait en crevasses larges et profondes, les grands arbres tombaient avec fracas, les champs situés sur les pentes s'éboulaient les uns sur les autres [...]".

« Voici la cause géologique de ce singulier phénomène, qui s'est prolongé pendant plusieurs jours. La vallée où se trouve le hameau du Colombier est composée par une succession de petits plateaux et de pentes dont l'usage inférieur, formant comme un rez-de-chaussée naturel, aboutit à un torrent qui porte le nom du Rabassin. Or, tous ces terrains reposent sur un banc d'argile, et c'est à cette disposition qu'est dû l'évènement du 17 janvier. Le plateau supérieur, dit quartier Ménager, offrant une certaine dépression, avait servi de réceptacle aux pluies diluviennes qui tombaient depuis quelque temps; ces eaux, ne trouvant pas d'issue, pénétrèrent par infiltration jusqu'à la couche argileuse qui, sous leur action dissolvante, s'amollit, se délaya et fut bientôt entraîné dans la direction commune du torrent.

« De là, un grand vide dans l'espace qu'elle occupait. Les terrains supérieurs, privés de leur base, s'affaissèrent, et il en résulta les désordres dont il vient d'être question, et qui continuent de se produire à mesure que les couches étagées obéissent au mouvement général, plus ou moins rapide, selon les circonstances qui le favorisent ou les obstacles qu'il rencontre.

« Au témoignage des anciens du pays, c'est la quatrième fois que ce phénomène se serait produit depuis quatre-vingts ans, mais jamais avec une telle intensité. Les pertes sont très-considérables. Il n'est pas encore possible, cependant, d'évaluer le chiffre, même approximativement. »

Extrait "Le Mercure aptésien", janvier 1863



Vue du village de Caseneuve



## Coulée boueuse sur Bédoin en décembre 2003



Le 2 décembre 2003, une coulée de boue et de gravats de près de 50 cm d'épaisseur a traversé la commune sur plus de 1 km. Suite à de fortes pluies, les torrents situés en amont sont entrés en crue. Les eaux de débordement ont emporté les matériaux meubles qui sont venus alimenter la coulée.



Coulées de boue sur Bédoin en décembre 2003

Source : BDMVT

Source : BDMVT

Source : BDMVT

## Effondrements de grande ampleur à répétition sur Gargas



Plusieurs effondrements se sont produits après l'arrêt de l'exploitation des carrières souterraines d'ocre de Gargas. En 1960 et 1963, puis plus récemment en 1994 et 1995, certaines galeries se sont effondrées, produisant en surface des fontis de plusieurs dizaines de mètres de diamètre (30 à 40 m).



Vues de différents effondrements et trous laissés en surface sur le site des carrières souterraines de Gargas



Source : BDMVT

Source : BDMVT

Source : BDMVT

## Retrait-gonflement des sols argileux de Mormoiron



Avec 3 arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle liés au phénomène (1993, 2000 et 2008), Mormoiron fait partie des communes fortement concernées par le phénomène de retrait-gonflement des argiles. La cartographie de cet aléa sur le département du Vaucluse, réalisée par le BRGM (Service Géologique Régional), y indique la présence de sols fortement sensibles à ce phénomène et dénombre 95 sinistres entre 1989 et 2003.



Fissuration du sol argileux (fentes de dessiccation)



Fissures verticales sur les murs de maisons



Source : BRGM

Source : BRGM

Source : BRGM

Un site expérimental d'étude du phénomène est suivi par le BRGM sur la commune. Les déplacements verticaux saisonniers du sol maximum mesurés sont de l'ordre de 5 à 6 cm.



# Quelques événements mouvements de terrain marquants dans le Var

*Les marnes et gypses des formations triasiques, formations meubles et sensibles aux phénomènes de dissolution et de solifluxion (glissement lent), couvrent une large partie du département. Les formations gypseuses sont sujettes à la création de cavités souterraines qui déstabilisent l'équilibre du sol.*

*Les falaises formées de roches métamorphiques et volcaniques sont soumises aux mouvements gravitaires de type chutes de blocs et glissements.*



## Effondrement de grande ampleur dans le Haut-Var : Bargemon et Tourrettes



Le 22 août 1992 à 6 heures du matin, un effondrement de 80 mètres de diamètre et de 15 mètres de profondeur environ se produisit sur la commune de Bargemon. Par chance, aucune victime ne fût à déplorer, cependant un



Source : DTTM83

périmètre d'exclusion fût établi afin d'éviter tout risque pour les habitants. Cinq ans plus tôt, à Tourrettes, le 27 décembre 1987, un effondrement de 50 mètres de profondeur avait littéralement "englouti" la petite rivière le

**Bargemon : soudain, tout s'écroula**  
 Près de deux hectares de terrain se sont effondrés, hier à l'aube. Une spectaculaire catastrophe naturelle qui n'a miraculeusement pas fait de victimes

*"Comme un tremblement de terre". C'est le mot qui revenait dans toutes les bouches hier matin pour décrire le spectacle de désolation qui troublait le paisible paysage de Bargemon. [...] "on a eu du mal à fermer l'œil à cause des grondements qui ont débuté vers 23 heures. Et le bruit s'est fait de plus en plus fort vers 5 heures du matin. [...]"*

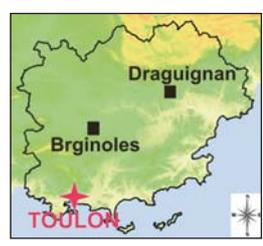
Article paru dans "Var matin"  
le 23 septembre 1992

L'effondrement de Bargemon

"Chautard" dont les eaux avaient disparu dans les "entrailles" du sol. Ces événements seraient dus à l'effondrement du toit de cavités souterraines naturelles formées par dissolution des matériaux gypseux largement répandus sur ces territoires.



## Glissements récurrents sur la corniche de Cap Brun à Toulon

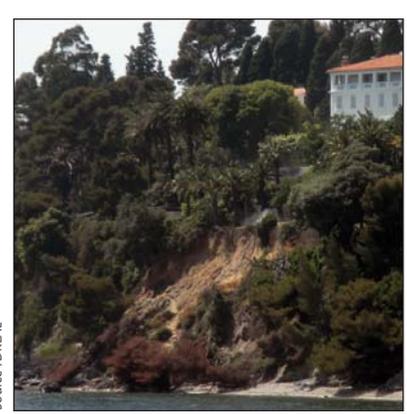


Le versant sud du Cap Brun situé dans la partie est de l'agglomération toulonnaise est affecté par des glissements récurrents : 1955, 1958, 1969, 1970, plus récemment 1994, 1999, d'ampleur variable... Ces phénomènes affectent une formation de couverture provenant de l'altération de schistes. Celle-ci, plaquée sur de fortes pentes, est très sensible à l'action de l'eau et devient instable lorsqu'elle en est gorgée. Ces glissements se produisent le plus souvent à la suite de pluies importantes.



Source : BRGM

Instabilité sur le versant de l'Anse de Méjean



Source : DREAL

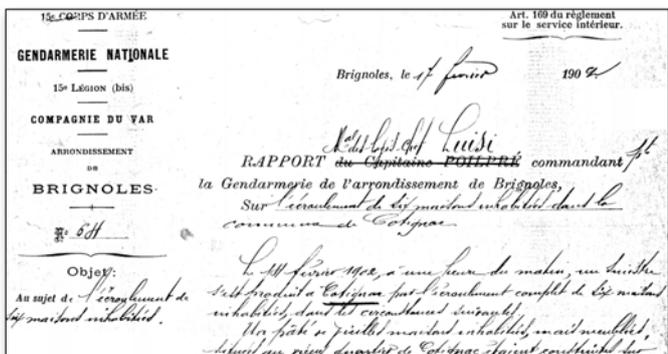
Glissement en décembre 2008



## Glissement (ou effondrement) spectaculaire à Cotignac en 1902



Dans la nuit du 14 au 15 février, tout un quartier bâti sur des argiles vertes menaçait de s'écrouler. Le rapport de gendarmerie rapporte : "À la suite de la période pluvieuse qui sévit dans la région, un glissement de terrain argileux s'est produit insensiblement, mais rien ne pouvait faire prévoir ce sinistre." Sept maisons s'effondrèrent, et 68 furent détruites. Compte-tenu de la présence de gypse sous-jacent, l'effondrement du toit d'une cavité souterraine issue de sa dissolution a pu provoquer un affaissement qui a généré le glissement ou l'a aggravé.



Extrait du rapport de gendarmerie du 19 fév. 1902



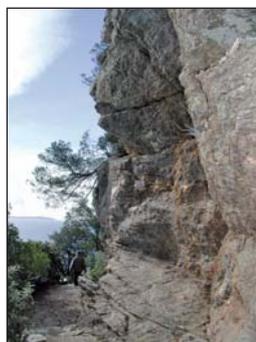
Cotignac



## Éboulement sur les falaises du Cap Sicié en 2008



Durant l'hiver 2008, de fortes pluies ont accéléré les processus d'érosion des falaises de roches métamorphiques du Cap Sicié (la Seyne-sur-Mer). Des éboulements se sont produits provoquant la fermeture du sentier du littoral (sentier des douaniers) pendant plusieurs jours.



Le sentier avant l'éboulement

Dans l'édition du 20 décembre 2008, le journal Var Matin rapporte :

*"Sur plusieurs centaines de mètres, entre la plage de Fabrègas et la pointe du Jonquet, des tronçons entiers ont carrément disparu sous des éboulements qui ont emporté des tonnes de roches et de terre, déracinant ou arrachant des arbres au passage [...] À certains endroits, il n'est plus possible de passer."*



Entrée du sentier



## Chute de blocs à Chateaudouble en décembre 2008



Le 15 décembre 2008, un éboulement provoque la fermeture de la RD 51 qui mène au village de Chateaudouble. Ce n'est pas la première fois que ce secteur est touché par ce type de phénomène ; plusieurs fois dans le passé, les falaises formées de calcaires dolomitiques qui dominent le village et les gorges de Chateaudouble, ont donné lieu à

des chutes de blocs plus ou moins volumineuses (1950, 1980, 1996, 2000).



Protection contre les instabilités rocheuses à la sortie de Chateaudouble sur la RD 51





# Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Alpes-Maritimes

*Glissements de terrain et coulées de boue, chutes de blocs, effondrements... De par son relief escarpé de moyenne et basse montagne et sa géologie très variée, le département est fortement exposé aux mouvements de terrain. Ces derniers sont particulièrement fréquents sur le réseau routier qui suit les vallées creusées par les nombreux cours d'eau qui traversent le territoire.*



## Le glissement catastrophique de Roquebillière de novembre 1926



Dans la nuit du 23 au 24 novembre 1926, un gigantesque glissement de terrain s'est déclenché dans le versant sur lequel est construit le village de Roquebillière. Les volumes déplacés furent estimés à 2 – voire 3 millions de mètres cubes. Le mouvement a pris naissance dans des formations glaciaires meubles recouvrant un substratum hétérogène composé de marne, argile et gypse. De fortes pluies furent enregistrées avant l'événement. Actuellement, des glissements ponctuels de petites dimensions sont encore enregistrés, témoignant du mouvement d'ensemble du versant.



Source : ONF - RTM 06

Photographie du glissement 1 an après, en septembre 1927

Extrait "Le petit Niçois", 25 novembre 1926

**UNE CATASTROPHE SANS PRÉCÉDENT**

**Le village de Roquebillière a été à demi anéanti, hier, par un glissement de terrain**

**ON COMPTE 19 MORTS ET 15 MAISONS ENSEVELIES**

*"Il était 3h10. Seul le personnel de la boulangerie [...] était occupé à pétrir le pain du lendemain. Un jeune ouvrier, entendant des craquements sinistres, sortit en courant de la boulangerie. Spectacle d'épouvante : sous ses yeux, la montagne entière, comme prise d'un soudain vertige, glissait vers la vallée. [...] littéralement écrasées, bousculées, recouvertes, quinze maisons du village étaient anéanties."*



## Coulées de boue à Menton (1952)



Le 24 avril 1952, des coulées de boue de grande ampleur ont dévasté une partie de la ville de Menton. Bilan : 90 constructions emportées, 15 morts et 35 blessés. Des glissements de terrain superficiels sont à l'origine de ces coulées boueuses. Des pluies torrentielles ont déferlé sur la commune pendant plusieurs jours, provoquant la saturation des terrains meubles de couverture (matériaux sableux et blocs issus de l'altération de flyschs gréseux) puis leur déstabilisation. Bien que moins étendus, de tels phénomènes se sont reproduits depuis (2000, 2008).

Récit d'une rescapée, "L'espoir de Nice et du Sud-est", 24 avril 1952

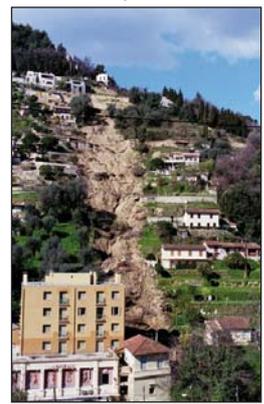
Vue de la trace laissée par le passage de la coulée et dégâts occasionnés sur les habitations en 1952 puis en 2000

**MENTON DRESSE LE BILAN DE LA CATASTROPHE**  
provoquée par les pluies torrentielles  
Première évaluation du désastre  
**4 morts, 10 disparus et 14 blessés**

*"Il était à peu près 19 heures. J'étais dans mon appartement plein d'eau et alors que j'essayais d'évacuer cette eau, j'ai entendu tout à coup un bruit semblable à un coup de tonnerre. J'ai eu l'impression d'un véritable tremblement de terre. Me mettant à la fenêtre, je me suis aperçue que les trois immeubles qui entouraient ma maison s'étaient écroulés. C'était épouvantable!"*



Source : ONF - Service RTM 06



Source : BRGM



## Éboulement sur la route de Castérino le 22 avril 2006



Le 22 avril 2006, plusieurs centaines de tonnes de roches se sont éboulées sur la RD 91, emportant la route sur plus de 50 m de longueur. La route menant au village de Castérino, point d'entrée dans la Vallée des Merveilles, fut coupée pendant près de 2 mois.

### Castérino coupé du monde pour plusieurs semaines

*“Sous la lumière blafarde d'un ciel gris anthracite, Castérino paraît figé.[...] À l'entrée un panneau lumineux “Éboulement, route fermée à 3 km” rappelle que le village de la haute Roya est coupé du monde depuis la rupture en aval, samedi à 7 heures, d'un pan de falaise”*

Extrait “Nice-Matin” du 27 avril 2006



Vue de la falaise après l'éboulement

Source : ONF – Service RTM 06



## Éboulement dans la vallée de la Tinée en février 2006

Le 25 février 2006, en pleine saison des sports d'hiver, un éboulement de plusieurs centaines de mètres cubes bloqua la route RD 2207 menant aux stations de ski de la Tinée. Ces événements sont récurrents le long de la départementale, ils se produisent dans les formations indurées et fracturées dans lesquelles la rivière de la Tinée a creusé son lit.



Extrait “Nice-Matin” du 26 février 2006

### La route du ski coupée par 800 m<sup>3</sup> de rochers

Les travaux de purge ont immédiatement débarrassé une route principale défilante. Dans l'après-midi, les équipes de déblaiement étaient en action. Aujourd'hui des engins et des files de protection doivent être posés. Le déblocage de la route passera la fin de semaine.

Les stations ont vite réagi.

Auton/Isola : itinéraires à suivre

Source : BRCM

## Glissement de La Clapière (Saint-Étienne-de-Tinée)

Le versant de La Clapière est soumis à un glissement de terrain de grande ampleur mobilisant 30 à 50 millions de mètres cubes de terrain. Des signes d'instabilité remontant au 18<sup>ème</sup> siècle sont relevés dans les archives. De part ses dimensions et les enjeux menacés, le glissement est surveillé [PR9] depuis les années 1970. Des aménagements ont également été réalisés afin de limiter les dommages potentiels : déviation de la route d'accès au village de Saint-Étienne-de-Tinée, tunnel de dérivation des eaux de la Tinée.



Vue du glissement (février 2008)

Source : ONF – Service RTM 06

## Le glissement d'Entraunes de 1960



Dans la nuit du 18 au 19 mai 1960 s'est produit un glissement de terrain mobilisant plus de 100 000 tonnes de matériaux sur une distance de 100 m. La route fût coupée, isolant le village d'Esteing plusieurs jours.

Vue du glissement de 1960



Source : Nice-Matin

## Glissement sous-marin de l'aéroport de Nice (1979)



ANTIBES : tout un quartier dévasté

A Saint-Laurent-du-Var le port s'est pratiquement vidé !

Le préfet des A. M. donne des consignes de prudence

Le chantier de construction de l'aéroport de Nice a été interrompu par la mer

Le 16 octobre 1979, pendant des opérations de remblayage associées à l'extension de l'aéroport, un glissement sous-marin de grande ampleur se produisit, faisant disparaître dans la mer une partie de l'aéroport. Consécutivement, après une baisse relative du niveau de la mer, un raz de marée de plusieurs mètres submergea le littoral sur un front de 100 km environ. À l'époque, outre des dégâts matériels importants et des interrogations concernant les modalités de construction de l'aéroport et sa stabilité, cette catastrophe causa la mort de plusieurs personnes.





# Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Alpes de Haute-Provence

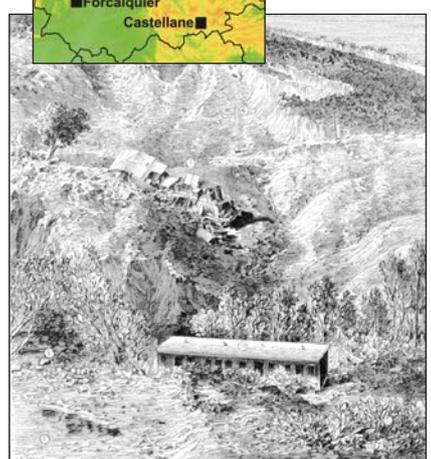
*Le département des Alpes de Haute-Provence est touché par les éboulements rocheux qui peuvent parfois être catastrophiques. Les glissements de terrain dans les matériaux meubles de couverture ou les formations marneuses type terres noires se produisent également et peuvent déplacer d'énormes volumes de terrains.*



## Éboulement catastrophique à Sisteron en 1886



Le 12 novembre 1886, plusieurs centaines de mètres cubes de blocs et de terre se décrochèrent de la montagne de Montgervis formée par les calcaires marneux du Crétacé inférieur. Les matériaux ensevelirent un train qui passait là. Cette catastrophe fit six morts et près d'une vingtaine de blessés. L'événement marqua beaucoup les esprits à l'époque comme en témoignent de nombreux articles de journaux et ouvrages.



Monographie parue dans le volume 15 de "La Nature", en 1887

**La catastrophe de Sisteron.**  
"Une affreuse catastrophe a eu lieu vendredi, vers midi, sur la ligne ferrée [...]. Le train [...] marchait à toute vapeur, lorsqu'une partie de la colline [...] s'éboula et vint se mettre en travers de la voie. Le mécanicien, voyant le danger, essaya d'arrêter le train [...] mais il était trop tard, et un choc formidable se produisit. La locomotive s'enfonça, assure-t-on à près de trois mètres dans le sol."

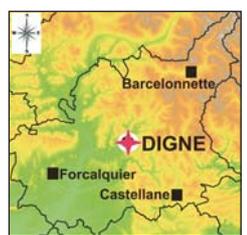
Extrait "Le Courrier des Alpes" le 18 novembre 1886

**SISTERON**  
Catastrophe dans les Alpes : Un train enseveli. — On télégraphie de Sisteron  
"Arrêtée en pleine vitesse, la machine fût renversée et s'enfonça dans les terres accumulées; un wagon de 1<sup>ère</sup> classe a été brisé par d'énormes blocs. [...] Trois personnes ont été écrasées : le mécanicien, le chef de train et une femme ; trois blessés sont morts pendant le sauvetage."

Extrait "Le Petit Niçois" du 14 novembre 1886

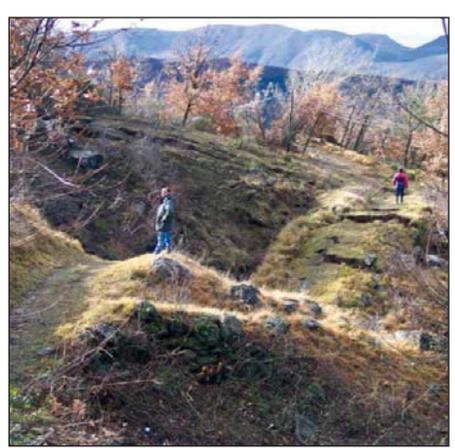


## Glissement de terrain du Villard-des-Dourbes (Digne-les-Bains)



En décembre 2002, c'est tout le versant entre les hameaux des Dourbes et du Villard (à Digne-les-Bains) qui est déstabilisé par un grand glissement de terrain dans les Terres Noires du Jurassique. Ce glissement a déplacé 20 millions de m<sup>3</sup> de matériaux avec des vitesses enregistrées pouvant atteindre 10 m/jour. Un glissement avait déjà eu lieu un an auparavant, en tête du glissement de 2002. En mai 2002, il avait été observé une reprise du glissement de tête (au pied des fortes pentes).

Vues du glissement



Source : ONF - Service RTM 04



Source : ONF - Service RTM 04



## Glissement de la Valette (vallée de l'Ubaye)



En mars 1982, un vaste glissement se produit dans les argiles glaciaires affleurant dans le bassin du torrent de La Valette (entre les communes de Barcelonnette et Saint-Pons). En 1988, des coulées se produisent depuis le front du glissement sous l'effet de circulations d'eaux à la base du glissement. Le glissement s'étend sur près de 50 ha de terrain. Bien que sa vitesse de propagation ait diminué depuis son apparition, le glissement reste toujours une menace pour la population et fait l'objet d'une surveillance [PR9].



Vue du glissement depuis la rive opposée



## Éboulement de la Rochaille en mars 2001

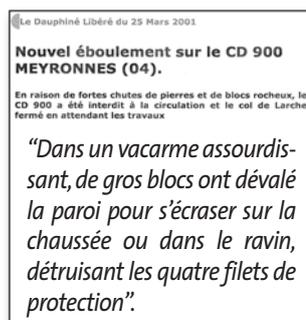


En mars 2001, la route départementale 900 reliant la vallée de l'Ubaye à l'Italie par le col de Larche, fût coupée par un éboulement de plusieurs dizaines de mètres cubes au lieu-dit de la Rochaille (commune de Meyronnes). Heureusement, aucune victime n'est à déplorer. Depuis, un panneau à message variable a été installé, permettant la régularisation de la circulation.



Source : ONF - Service RTM 04

Déblaiement de la chaussée suite à l'éboulement



Extrait Le Dauphiné Libéré le 25 mars 2001



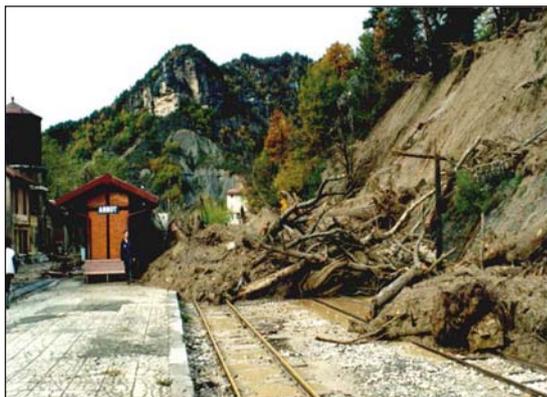
Source : Dauphiné Libéré

Panneaux avertisseurs

## Coulées boueuses sur la commune d'Annot en 1994 et 1996



Le 5 novembre 1994, suite à de très fortes précipitations, plusieurs coulées boueuses prirent naissance depuis la falaise de grès dominant le village, et envahirent plusieurs quartiers situés en aval de la falaise ainsi que la gare. Près de 400 à 600 m<sup>3</sup> de boue ont occasionné des dégâts sur la voie de chemin de fer et sur un bâtiment. Suite à cet événement, l'état de catastrophe naturelle sera déclaré sur la commune. En février 1996, une nouvelle coulée se produit, suite à un long épisode pluvieux. La voie ferrée fut de nouveau touchée et une maison endommagée.



Source : ONF - Service RTM 04

Coulée à Annot - 1994

## Éboulement dans les Clues de Barles en janvier 2008



Le 17 janvier 2008, des éboulis en pied de falaise ont été remobilisés suite à de fortes pluies, et sont entrés en mouvement. La masse rocheuse en mouvement atteignait plusieurs dizaines de tonnes. L'ensemble a enseveli la route départementale 900a sous quelques mètres de haut. D'importants travaux de déblaiement et de sécurisation de la zone (installation de protections contre les instabilités rocheuses) ont du être réalisés, coupant la route pendant près de 5 mois.



Source : BRGM

Travaux de protection de la falaise suite à l'éboulement



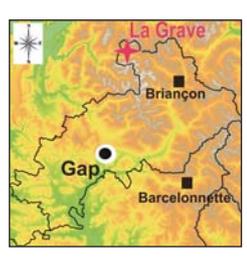


# Quelques événements mouvements de terrain marquants dans les Hautes-Alpes

*Son relief marqué caractéristique de la haute et moyenne montagne (Barre des Écrins à 4 102 m d'altitude), et les formations géologiques diverses qui couvrent le territoire : roches cristallines, barres rocheuses calcaires, marnes et terres noires, ou formations glaciaires meubles (moraines), constituent un contexte favorable à l'apparition d'instabilités gravitaires.*



## Glissements de terrain au Chazelet (La Grave)



Le 10 avril 1995, un glissement coulée se produit sur le versant en amont du hameau du Chazelet. Les matériaux parcourent plusieurs dizaines de mètres. Six véhicules, une maison et un tractopelle sont endommagés, heureusement aucune victime humaine n'est à déplorer. Les deux routes d'accès au village sont coupées sur 50 m par 1,5 à 2 m de matériaux. Le même phénomène se reproduisit à deux reprises : en 2001 et 2003 après des épisodes pluvieux intenses.



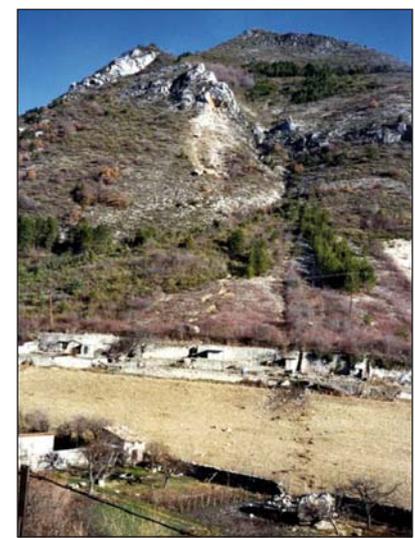
Source : ONF - Service RTM 05



## Éboulement sur les flancs de la montagne de Champérus à Veynes en 1996



Le 19 janvier 1996, un éboulement de plusieurs blocs rocheux se produit depuis une arête rocheuse sur le flanc de la montagne de Champérus. Un mur de soutènement et des arbres fruitiers furent détruits.



Cicatrice laissée sur les terrains traversés par les blocs rocheux

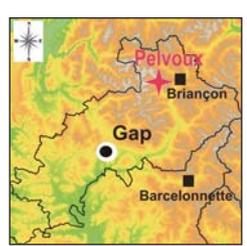
Source : ONF - Service RTM 05

Ces événements sont fréquents le long des falaises bordant la montagne, surtout durant l'hiver où des périodes de gel-dégel se succèdent fragilisant le massif.

*Un des blocs rocheux (le personnage donne l'échelle)*



## Éboulement dans la Vallouise à l'entrée du massif des Écrins au "Pré de Madame Carles"



Dans la nuit du 25 au 26 juillet 2008, un éboulement de blocs et de glace se produit sur la RD 204 entre Ailefroide et le Pré de Madame Carle, point de départ de courses en montagne réputées. Les matériaux éboulés s'étendaient sur près de 150 m de long, 40 m de large, 10 m de haut. À l'origine de l'éboulement, un névé qui en se détachant a tout entraîné sur son passage : blocs rocheux, mélèzes et blocs de glace. Ce type de phénomène est loin d'être exceptionnel dans cette vallée glaciaire.

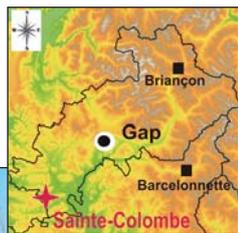


Opérations de déblaiement après l'éboulement

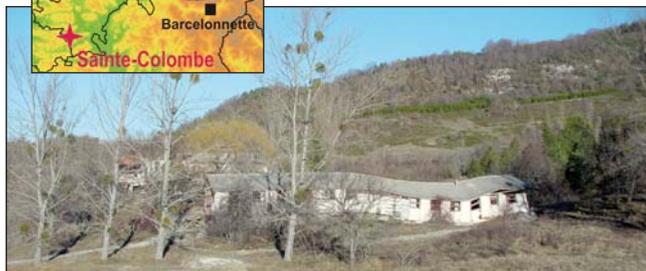
Source : www.ledauphine.com



## Glissement de Sainte-Colombe



En 1953, un glissement lent se déclencha dans les terres noires affleurant sur la commune de Sainte-Colombe. Le glissement de 400 m de large couvrait une sur-



Source : ONF - Service RTM05



Source : ONF - Service RTM05

*Vue des bâtiments et route endommagée de nos jours*

face de 16 ha environ. La zone de loisir située sur la zone en mouvement fut évacuée. Actuellement, la route d'accès est toujours coupée.



## Glissements de terrain sur les rives du torrent Sainte-Marthe à Embrun



En 1924, près d'un million de mètres cubes de matériaux meubles entrent en mouvement le long de la rive gauche du torrent de Sainte-Marthe. Depuis, le mouvement se poursuit, entretenu par le torrent qui circule au pied (1932,1951,1991,1995). Le contexte géologique est favorable à l'apparition de ce type d'instabilité : formation morainique couvrant des terrains de nature argileuse. Des ouvrages imposants tentant de contenir les glissements ont été mis en place par les services RTM.



Source : ONF - Service RTM05

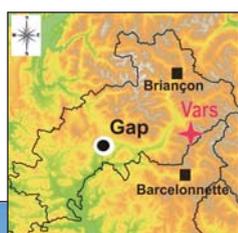
*Vue générale du fond de vallée en 1924 (glissement de la rive droite)*

*Vue du glissement en 1924*

*Vue du glissement en 1932*



## Glissement du Ruinas sur le hameau de Sainte-Marie, Col de Vars



Le versant en rive gauche du torrent du Chagne est affecté par un glissement lent des terrains superficiels (matériaux d'altération et moraines). Ce mouvement de terrain est très ancien, puisque dès le début du XIX<sup>e</sup> siècle, des indices d'instabilité sont rapportés dans les archives.



Source : BRGM

*Aujourd'hui les mouvements sont suffisamment lents pour ne pas menacer directement la sécurité des personnes.*



Source : BRGM

*Le torrent du Chagne érode le pied du talus et provoque son glissement par la réduction de butée de pied*





# VI Annexes



A.1 Pour aller plus loin...

A.2 Glossaire







# Pour aller plus loin

## Les acteurs impliqués dans le risque mouvements de terrain en région Provence-Alpes-Côte d'Azur

### Services déconcentrés de l'État



#### Échelon interrégional ou interdépartemental

- **Centre d'Étude Technique de l'Équipement (CETE Méditerranée)**

Le CETE Méditerranée appartient au Réseau Scientifique et Technique du Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEEDDM).

Il mène notamment des actions de recherche, d'expertise, de conseil et de formation dans le domaine de la connaissance et la prévention du risque mouvement de terrain.

Le CETE Méditerranée participe ainsi à la mise en œuvre des politiques publiques prioritaires destinées à prévenir les risques et à en limiter les conséquences, notamment par la participation à l'élaboration des PPR et plus généralement par la prise en compte des risques dans la planification (SCOT et PLU).

#### Échelon régional



- **Préfecture de région**

Le préfet de région, dans la région, est dépositaire de l'autorité de l'État. Il a la charge des intérêts nationaux et du respect des lois. Il représente le Premier ministre et chacun des ministres. Il veille à l'exécution des règlements et des décisions gouvernementales. Il dirige, sous l'autorité des ministres, les services déconcentrés des administrations civiles de l'État.

Parmi les axes de ses missions le préfet de région est le garant de la cohérence de l'action des services de l'État dans la région. À ce titre, il fixe des orientations générales qu'il élabore avec les préfets de département dans la région. Il anime et coordonne l'action des préfets de département. Le préfet de région détermine également les orientations nécessaires à la mise en œuvre dans la région des politiques nationales et communautaires de sa compétence. Avec le SGAR il mène des missions de coordination et de gestion des programmes nationaux et européens.

- **Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL)**

Née de la fusion de trois services régionaux DIREN (direction régionale de l'environnement), DRE (direction régionale de l'équipement) et DRIRE (direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement) la DREAL est placée sous l'autorité du préfet de région et des préfets de départements. La DREAL en matière de risques est chargée de contribuer à sensibiliser les citoyens aux risques. La DREAL a pour mission sur le thème des risques naturels de mouvement de terrain d'apporter, outre un appui technique et méthodologique auprès des services départementaux, un soutien financier aux opérations de prévention du risque mouvement de terrain. La DREAL participe activement à la connaissance du risque mouvement de terrain grâce aux résultats d'études et de cartographie de l'aléa mouvement de terrains menés sur son territoire. Elle apporte une information sur les risques dans le cadre de l'élaboration des outils d'urbanisme (PLU) et de planification (SCOT) et sur les projets notamment structurants en lien avec les contraintes environnementales.



#### Échelon départemental

- **Préfecture**

La sécurité civile, au même titre que la sécurité publique, constitue une des missions régaliennes de l'État. Cette mission porte sur la prévention et la gestion des crises. La Préfecture assure ainsi la permanence du fonctionnement des services de l'État et la sécurité des personnes et des biens. Elle garantit la sécurité civile intérieure et est responsable des opérations de secours (catastrophes liées aux risques naturels ou technologiques, inondations, pollutions, incendies, explosions, glissements de terrain, ...). Dès que l'intervention dépasse les capacités de la commune, l'engagement et la coordination des secours relèvent de la responsabilité du Préfet. Sous son autorité, le SIDPC (Service Interministériel de Défense et de Protection Civiles) intervient lors de la survenance de crises ou de catastrophes naturelles notamment. Pour faciliter la gestion des catastrophes, le SIDPC définit le rôle de chaque acteur concerné pour chaque type de crise ou de risques, dans le cadre de l'Organisation de la Réponse de Sécurité Civile (ORSEC). Le Préfet élabore le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) sur son département et traite les demandes d'aide au titre des catastrophes naturelles.



## • Direction Départementale des Territoires (DDT et DDTM)

La Direction Départementale des Territoires (DDT), appelée Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) dans les départements du littoral, est un service déconcentré de l'État français créé au 1<sup>er</sup> janvier 2010 sous forme d'une direction départementale interministérielle, placée sous l'autorité du Préfet de département. La direction départementale des Territoires regroupe l'ancienne Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt (DDAF), l'ancienne Direction Départementale de (DDE), et le service environnement de la préfecture. Il s'y ajoute dans les départements du littoral l'ancienne direction des Affaires maritimes (DDAM). Les DDT et DDTM jouent un rôle important en matière d'information et de prise en compte des risques dans l'aménagement du territoire notamment à travers les PPR. Elles sont chargées également du suivi de la réglementation dans le bâtiment.



## Collectivités territoriales

### • Conseil Régional

La Région Provence-Alpes-Côte d'Azur a mis en place une politique régionale volontariste de prévention des risques naturels majeurs visant la prise en compte des risques dans l'aménagement du territoire aux différentes échelles territoriales : inter-régionale, régionale, bassin de risques, territoire de projet, communes et regroupement de communes. Il s'agit :

- d'anticiper au mieux le risque notamment par l'amélioration de la connaissance des aléas et des zones exposées (inventaire, définition de zones à risques, cartographies, information géographique) et par la prise en compte des mutations en cours (développement de l'urbanisation, effets du changement climatique...).
- de contribuer à développer une culture du risque, notamment au travers de l'information préventive,
- de faire en sorte que le risque soit intégré à la réflexion d'aménagement du territoire,
- d'accompagner le développement de dispositifs de prévision et d'alerte,
- de contribuer à la réalisation d'ouvrages de protection des personnes et des biens des ouvrages et des équipements adaptés (entretien des digues, filets...),
- d'aider les territoires victimes de phénomènes naturels de forte intensité à faire face aux premiers travaux d'urgence.



### • Conseils Généraux

Ils participent aux actions de prévention et en situation de crise concourent, notamment par leur soutien aux communes, à l'effort de solidarité pour faciliter le retour à la normale. En charge de la gestion des routes départementales, ils mettent en œuvre les travaux de protection nécessaires afin de sécuriser le réseau routier face au risque mouvements de terrain.

### • Communes

Les Maires ont d'importantes responsabilités en matière de prévention et de protection dans le domaine des risques. Les communes mènent donc des actions en matière d'information des habitants, d'urbanisme, dans le domaine de la prévention ainsi que de construction et d'entretien d'ouvrages de protection, d'organisation des actions de sauvegarde dans le domaine de la protection. Si ces actions sont souvent compilées dans des documents réglementaires comme le Plan local d'urbanisme, le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs ou le Plan Communal de Sauvegarde, de nombreuses communes font le choix d'aller au-delà notamment dans les actions de concertation avec leurs habitants afin de bâtir une véritable culture du risque.



## Etablissements publics

### • Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM)

Le BRGM est l'Établissement public à caractère industriel et commercial, placé sous la tutelle du ministre de la recherche, du ministre de l'industrie et du ministre chargé de l'environnement de référence dans le domaine des applications des Sciences de la Terre pour la gestion des ressources et des risques. En matière de risques naturels les activités du BRGM couvrent le risque sismique, les mouvements de terrain, les phénomènes de retrait-gonflement des argiles, les effondrements de cavités souterraines, le risque volcanique, les risques littoraux. Elles portent sur la connaissance des phénomènes et leur modélisation, la surveillance, l'étude de la vulnérabilité des sites exposés, l'évaluation du risque et sa prévention, la préparation aux crises, les actions d'information et de formation.



### • Service de Restauration des Terrains de Montage (RTM)

Service de l'Office national des forêts (ONF, établissement public à caractère industriel et commercial) le RTM est spécialisé dans la protection, dans les zones montagneuses, contre les risques naturels (avalanches, chute de blocs, glissements de terrain, crues torrentielle). Leur domaine d'intervention sont la correction torrentielle, l'information et la connaissance sur les risques naturels, la cartographie des risques naturels, leur prise en compte dans la rédaction d'avis d'urbanisme et enfin la participation à l'élaboration des Plans de Prévention des Risques Naturels. Le service RTM, qui intervient sur les trois départements alpins de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, joue aussi un rôle d'assistance aux collectivités territoriales.

### • Institut National de l'Environnement et des Risques (INERIS)

L'INERIS est un Établissement Public à caractère Industriel et Commercial placé sous la tutelle du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer. Sa mission est de réaliser des études et des recherches permettant de





prévenir les risques que les activités économiques font peser sur la sécurité des personnes et des biens ainsi que sur l'environnement et de fournir toute prestation destinée à faciliter l'adaptation des entreprises à cet objectif. L'INERIS travaille en particulier sur les risques du sol et sous-sol dans les thématiques suivantes : évaluation et prévention des risques de mouvement de terrain liés aux anciennes exploitations (mines ou carrières) ainsi qu'à certains sites naturels, surveillance et auscultation des ouvrages souterrains.

#### • GEODERIS

GEODERIS est un Groupement d'Intérêt Public (GIP) associant le BRGM et l'INERIS. Ce groupement est l'expert technique de référence des DREAL pour l'après-mine et assiste les DREAL notamment pour la cartographie des aléas préalablement à la prescription des PPR Miniers.

## Universités et organismes de recherches



### Quelques sites web sur le risque mouvements de terrain

#### Prévention

- Site du Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer (MEEDDM) sur les risques majeurs : [www.prim.net](http://www.prim.net)
- Mise à disposition par le gouvernement des principales normes juridiques et données de la jurisprudence françaises : <http://www.legifrance.gouv.fr/>
- Site dédié à l'appui des communes pour la prévention des risques : <http://www.securite-commune-info.fr/>

- Base de données régionales mines et carrières en région Provence-Alpes-Côte d'Azur : <http://carol.brgm.fr>
- Site sur les phénomènes de retrait-gonflement des sols argileux : [www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)

#### Documents pédagogiques

- Institut des risques majeurs : <http://www.irma-grenoble.com/>
- Assemblée nationale : <http://www.assemblee-nationale.fr/10/rap-off/i2017-t1.pdf>
- Lithothèque PACA : <http://www.lithotheque.ac-aix-marseille.fr/>

#### Bases de données

- Base de données nationales mouvements de terrain : [www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr)
- Base de données nationales sur les cavités souterraines : [www.cavites.fr](http://www.cavites.fr)



### Quelques ouvrages techniques

- Besson L., 1996 ..... *Les risques naturels en montagne, traitement, prévention, surveillance* - Ed. Artès-publialp, 437 pages
- Flageollet J.-C., 1988 ..... *Les mouvements de terrain et leur prévention* - Ed. Masson, 224 pages
- LCPC, 1994 ..... *Guide technique pour la surveillance des pentes instables*
- LCPC, 1998 ..... *Guide technique pour la stabilisation des glissements de terrain*
- LCPC, 2000 ..... *Guide technique pour la caractérisation et la cartographie de l'aléa dû aux mouvements de terrain*
- LCPC, 2001 ..... *Guide technique sur les parades contre les instabilités rocheuses : chutes de pierres, chutes de blocs, éboulements*
- LCPC/INERIS, 2002 ..... *Guide technique pour l'évaluation des aléas liés aux cavités souterraines*
- LCPC, 2004 ..... *Guide technique pour la détection de cavités souterraines par méthodes géophysiques*
- LCPC 2009 ..... *Guide technique pour la maintenance des ouvrages de protection contre les instabilités rocheuses - pathologie et gestion des ouvrages*
- Ministère de l'Aménagement du territoire ..... *Guide méthodologique relatif aux Plans de Prévention des Risques naturels (PPR) - risques de mouvements de terrain* - Ed. La Documentation française
- Ministère de l'écologie, du développement ..... *Le retrait-gonflement des argiles, comment prévenir les désordres dans l'habitat individuel ?* - Direction de la prévention, de la pollution et des risques
- Ministère de l'environnement, 1993 ..... *Sécheresse et construction : guide de prévention* - La Documentation française, 60 pages



# Glossaire



**Argiles gonflantes** : selon la définition du dictionnaire (A. Foucault, J.-F. Raoult), le terme argile désigne à la fois le minéral (minéral argileux) et la roche (meuble ou consolidée) composée pour l'essentiel de ces minéraux. La fraction argileuse est par convention constituée des éléments dont la taille est inférieure à 2  $\mu\text{m}$ . On parle d'argile gonflante lorsque celle-ci est sensible au phénomène de retrait-gonflement du fait de sa composition incluant des minéraux gonflants (smectites par ex).

**Bassin de risque** : unité physique indépendante des limites administratives.

**Chambres et piliers** : technique d'extraction de matériaux en souterrain. Le principe est d'enlever le matériau tout en laissant en place des piliers (matériau non exploité) qui assurent le maintien des terrains situés au dessus du gisement. L'espace dégagé entre les piliers s'appelle la chambre.



**Confortement** : édification de murs, poteaux, piliers maçonnés, ou encore remblayage boulonnage, destinés à ralentir l'évolution d'une cavité souterraine.

**Couche savon** : couche géologique meuble, généralement argileuse, favorisant dans certaines conditions le glissement des terrains sus-jacents.

**Déboufrage** : phénomène affectant un ancien puits d'exploitation ou une cavité naturelle qui, mal remblayé (à l'aide de matériaux qui peuvent être remobilisés, notamment en présence d'eau), voit son remblai s'écouler au sein des ouvrages souterrains auquel il est raccordé, avec pour conséquence la formation d'un cratère présentant la même section que la colonne du puits.

**Diaclase** : fracture initialement assez fine affectant une masse rocheuse sans déplacement relatif des blocs, résultant de contraintes lithostatiques ou de contraintes tectoniques.

**Doline** : dépression circulaire d'origine karstique dont le fond peut être tapissé par des argiles résiduelles de dissolution.



**Embâcle** : amoncellement de débris sur un cours d'eau provoquant son obstruction.

**Évapotranspiration** : correspond à la quantité d'eau transférée du sol vers l'atmosphère par l'évaporation au niveau du sol (fonction des conditions de température, du vent et d'ensoleillement notamment) et par la transpiration végétale (eau absorbée par la végétation).

**Faciès** : aspect spécifique d'une roche en fonction de sa composition, de sa structure, de son origine...

**Faille** : fracture ou zone de fractures séparant deux compartiments de terrain déplacés par cisaillement.

**Falaise** : escarpement vertical ou sub-vertical à dominance rocheuse.

**Flexure** : résultat d'une déformation sans rupture d'un massif rocheux.

**Fluage** : mouvements lents de matériaux plastiques sur faible pente. La surface de rupture n'est pas clairement identifiée. L'état ultime d'évolution d'un fluage est soit la stabilisation de la masse de matériau, soit la rupture : formation d'une surface de rupture et augmentation de la vitesse de déplacement.



**Fontis** : effondrement brutal et localisé se manifestant sous la forme d'un entonnoir ou d'un cratère. Il est le plus souvent associé à l'évolution d'une cavité, qui se manifeste par l'apparition d'une cloche remontant plus ou moins lentement vers la surface jusqu'au développement brutal d'un cratère.

**Forces motrices** : forces agissant dans le sens du mouvement.

**Forces résistantes** : forces agissant dans le sens contraire au mouvement.

**Fissure** : discontinuité dont l'origine est mécanique.

**Galerie** : vides de carrière ou espaces de circulation (voie) privilégiés en souterrain.

**Hygrométrie** : caractérise la quantité d'eau sous forme gazeuse présente dans l'air humide (humidité de l'air).

**Injection** : comblement de cavités mis en œuvre depuis la surface et pratiqué avec des produits faisant prise (cendres/ciment, sable/ciment, etc.).

**Joint de stratification** : discontinuité naturelle présente entre deux bancs de roche ou entre 2 couches de lithologies différentes.



**Karst** : ensemble de formes souterraines et de surface résultant des phénomènes de karstification (interaction avec les



écoulements souterrains).

**Karstification** : érosion spécifique due à la dissolution des massifs calcaires (ou salins) par les eaux souterraines pouvant donner lieu à la formation de galeries souterraines, de grottes, d'avens.

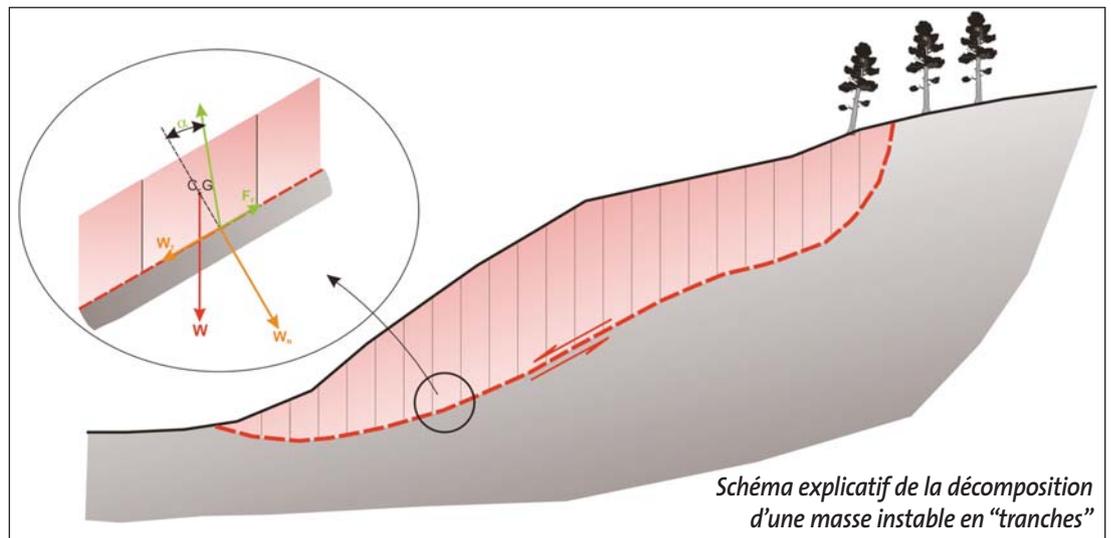
**Lave torrentielle** : masse boueuse qui s'écoule dans le lit d'un torrent en crue brutale (d'après A. Foucault et J.-F. Raoult).

**Lithologie** : nature du matériau constitutif du massif géologique (ex:calcaire, marne).

**Méthode des tranches** : méthode de calcul permettant d'approcher l'équilibre limite d'une pente. Le principe est le suivant : on découpe un volume instable en tranches suffisamment fines, à la base de chacune d'elles la surface de glissement est considérée comme plane. Dans les calculs on est amené à prendre en compte la cohésion (force résistante) des terrains dans lesquels chemine la surface de glissement et les forces qui se développent entre les tranches. La présence d'une nappe d'eau : modifie les forces motrices (allègement de la tranche de sol considérée) ; modifie les forces résistantes (réduction des forces de frottement et de la cohésion). Un séisme modifie ces forces de la même manière.

**Pendage** : pente générale naturelle d'une couche de terrain.

**Purge** : enlèvement de tout bloc instable pouvant tomber inopinément.



Source : BRGM

**Zone de propagation** : surface concernée par la propagation des éléments rocheux.

**Zone d'épandage** : surface d'accumulation des éléments rocheux éboulés.



## Sigles

<b>BRGM</b>	Bureau des recherches géologiques et minières
<b>CETE</b>	Centre d'études techniques de l'équipement
<b>DDRM</b>	Dossier départemental des risques majeurs
<b>DDT</b>	Direction départementale des territoires et de la mer
<b>DICRIM</b>	Dossier d'information communal sur les risques majeurs
<b>DREAL</b>	Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement
<b>IGN</b>	Institut géographique national
<b>INERIS</b>	Institut national de l'environnement et des risques
<b>IRMA</b>	Institut des risques majeurs
<b>LCPC</b>	Laboratoire central des ponts et chaussées
<b>MEEDDM</b>	Ministère de l'écologie, de l'énergie, du développement durable et de la mer
<b>ONF</b>	Office national des forêts
<b>PPR</b>	Plan de prévention des risques naturels prévisibles
<b>RTM</b>	Service de restauration des terrains en montagne
<b>SDIS</b>	Service départemental d'incendie et de secours
<b>SIDPC</b>	Service interministériel départemental de protection civile

