



V^e Contrat de Projet Etat-Région
« Optimiser la gestion des ressources naturelles, prévenir et gérer les risques –
Mesure : Améliorer la connaissance des risques »

Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000

Synthèse

BRGM/RP-59584-FR

Février 2011

V^e Contrat de Projet Etat-Région « Optimiser la gestion des ressources naturelles, prévenir et gérer les risques – Mesure : Améliorer la connaissance des risques »

Cartographie régionale de l'aléa mouvements de
terrain au 1/100 000

Synthèse
Rapport final

BRGM/RP-59584-FR
Février 2011

Étude réalisée dans le cadre des projets
de Service public du BRGM **10RISE21**

F. Rivet
avec la collaboration de **L. Royauté**

Vérificateur :

Original signé par Mathon Christian

Date : 21 février 2011

Approbateur :

Original signé par Dessandier David

Date : 22 février 2011

En l'absence de signature, notamment pour les rapports diffusés en version numérique,
l'original signé est disponible aux Archives du BRGM.

Le système de management de la qualité du BRGM est certifié AFAQ ISO 9001:2008.



Mots clés : région Provence-Alpes-Côte d'Azur, cartographie, aléa, mouvements de terrain, risque

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

F. Rivet avec la collaboration de L. Royauté (2011) – Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 – Synthèse. Rapport BRGM/RP-59584-FR, 105 p., 13 ill., 1 annexes, 3 cartes hors-texte.

Synthèse

Dans le cadre du IV^e Contrat de Plan Etat-Région Provence-Alpes-Côte d'Azur, une cartographie de l'aléa mouvements de terrain à l'échelle du 1/100 000 a été menée sur l'ensemble de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Cette étude avait pour objectif la réalisation d'une cartographie régionale homogène de la susceptibilité du territoire aux phénomènes de mouvements de terrain. Elle est cofinancée par le Conseil Régional PACA, la DREAL PACA ainsi que par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public. Le présent rapport conclut le programme de cartographie en présentant une synthèse globale décrivant la méthodologie suivie et ses principaux résultats.

Schématiquement, la région est constituée de 3 grands domaines géologiques et géographiques étudiés successivement : Provence calcaire et rhodanienne en 2007, Zone alpine en 2009 et Provence cristalline en 2011¹.

Chaque zone présente ses propres caractéristiques. La Provence calcaire et rhodanienne, la plus étendue, inclut les départements des Bouches-du-Rhône, du Vaucluse, et le sud des départements alpins Alpes de Haute-Provence et Hautes-Alpes. Sur cette zone partagée entre une moitié sud relativement plane et une moitié nord plus accidentée, les mouvements de terrain sont variés. La Zone alpine s'étend sur les domaines montagneux des départements des Alpes-Maritimes, Alpes de Haute-Provence et Hautes-Alpes. Sur cette zone morphologiquement et géologiquement complexe, les mouvements de terrain sont principalement des chutes de blocs et éboulements le long des itinéraires routiers et des glissements de terrain qui peuvent prendre des proportions considérables (exemple du glissement de La Clapière dans les Alpes-Maritimes). La Provence cristalline tient son nom des massifs cristallins qu'elle englobe : massifs des Maures, Estérel. Cependant, ce sont des formations géologiques hétérogènes qui y affleurent : du cristallin au sédimentaire. Cette zone s'étend sur la quasi-totalité du Var, le sud des Alpes de Haute-Provence et l'ouest des Alpes-Maritimes. Elle se distingue par les mouvements gravitaires de type effondrements ou affaissements qui s'y produisent, principalement dans les formations gypseuses triasiques. Ces événements peuvent surprendre par leur soudaineté et leur ampleur (exemple de l'effondrement de Bargemon (Haut-Var) en 1992).

Les phénomènes pris en compte dans la cartographie sont les chutes de blocs et éboulements, les glissements de terrain, les coulées *s.l.*, les affaissements et effondrements. Sur chaque zone d'étude une typologie illustrée et détaillée des mouvements de terrain est réalisée.

¹ Rapport BRGM/RP-55710-FR (Rivet & al., 2007), Rapport BRGM/RP-56762-FR (Rivet & al., 2009), Rapport BRGM/RP-59163-FR (Rivet & al., 2011).

La méthodologie utilisée pour cartographier l'aléa mouvements de terrain à l'échelle régionale du 1/100 000 est basée sur une approche dite d'expert qui repose sur l'appréciation des facteurs permanents de prédisposition aux mouvements de terrain tels que leur nature géologique et leur morphologie. On ne peut prendre en compte à cette échelle les facteurs de déclenchement et d'aggravation des mouvements de terrain (état de fracturation, précipitations, activité anthropique (terrassements, talutage...), incendies...). Le facteur occurrence n'étant pas abordable à cette échelle, on parlera plutôt de carte de susceptibilité aux mouvements de terrain. Les cartes de susceptibilité finales sont de type binaire : zones potentiellement exposées à l'aléa mouvements de terrain (glissement, chute de blocs, « coulée », effondrement), zones a priori non exposées.

À l'issue de chaque cartographie, une pré-analyse du risque est proposés sur les enjeux tels que les communes, voies de communication, ou encore sur des entités morphologiques telles que les bassins de risque. Il s'agit d'une première analyse de risque qui a pour but d'aider à cibler les priorités d'action sur des enjeux particulièrement exposés. La vulnérabilité des enjeux n'est pas abordée.

La cartographie, réalisée au 1/100 000, permet de disposer d'un document de hiérarchisation, d'information et de sensibilisation aux risques de mouvements de terrain sur l'ensemble de la Région PACA. Cette carte constitue également un outil d'aide à la décision pour l'aménagement du territoire. En outre, ces résultats permettront de fixer des orientations pour la cartographie au 1/25 000 dans les zones les plus sensibles (échelle plus adaptée en vue de la réalisation de Plans de Prévention des Risques et de la prise en compte des risques mouvements de terrain à l'échelle des documents d'urbanisme).

Ce rapport est accompagné des trois cartes régionales d'aléa : glissements et coulées, chutes de blocs et effondrement ou affaissement. Ces cartes sont présentées au format A0 et les évènements mouvements de terrain marquants y sont illustrés.

Sommaire

1. Introduction	9
2. Présentation géographique et géologique des différentes zones	11
2.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE	11
2.2. CADRE GÉOLOGIQUE	12
3. Typologie des mouvements de terrain étudiés	15
3.1. RECENSEMENT DES DONNÉES	15
3.1.1. Données concernant les cavités	15
3.1.2. Données concernant les mouvements de terrain	15
3.2. TYPOLOGIE DETAILLEE	18
4. Démarche méthodologique	21
4.1. OBJECTIFS VISÉS PAR LA CARTE D'ALÉA	21
4.2. FACTEURS D'INSTABILITE	22
4.2.1. Facteurs permanents (ou de prédisposition)	22
4.2.2. Facteurs variables dans le temps (de déclenchement)	24
4.3. DEMARCHE RETENUE	26
5. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain	29
5.1. ALÉA GLISSEMENTS DE TERRAIN	29
5.1.1. Démarche	29
5.2. ALÉA INSTABILITÉS ROCHEUSES	31
5.2.1. Démarche	31
5.3. ALÉA « COULEES »	33
5.4. ALÉA EFFONDREMENTS ET AFFAISSEMENTS LIÉS À DES CAVITÉS SOUTERRAINES	35
5.5. VÉRIFICATION ET CORRECTIONS CARTOGRAPHIQUES	35
6. Pré-analyse du risque	37

6.1. INTRODUCTION	37
6.2. PRE-ANALYSE DU RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN SUR LES BASSINS DE RISQUE	37
6.3. COMMUNES EXPOSÉES À L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	41
6.4. RÉSEAUX DE TRANSPORT EXPOSÉS À L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	42
7. Conclusions.....	45
8. Bibliographie	47

Liste des illustrations

Illustration 1 : Découpage de la région en trois domaines étudiés successivement (d'après BD ALTI ® - © IGN 2000)	11
Illustration 2 : Carte géologique au millionème de la région PACA (source BRGM)	13
Illustration 3 : Répartition des évènements mouvements de terrain en fonction de leur type	16
Illustration 4 : Répartition géographique des évènements mouvements de terrain recensés sur la région PACA	17
Illustration 5 : Répartition des évènements sur chaque zone d'étude.....	18
Illustration 6 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa glissement de terrain.....	30
Illustration 7 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa instabilités rocheuses (exemple sur la zone alpine)	32
Illustration 8 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa « coulées ».....	34
Illustration 9 : Carte des bassins de risque sur la Provence cristalline	38
Illustration 10 : Carte des vallées alpines sur la Zone alpine	38
Illustration 11 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier sur la Provence calcaire et rhodanienne.....	43
Illustration 12 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier sur la Zone alpine	43
Illustration 13 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier sur la Provence cristalline	44

Liste des annexes

Annexe 1 Fiches détaillées des différents types de mouvements de terrain.....49

Cartes A0

Carte 1 : Carte régionale de l'aléa glissement de terrain

Carte 2 : Carte régionale de l'aléa chute de blocs

Carte 3 : Carte régionale de l'aléa effondrement et affaissement lié à la présence de cavités souterraines

1. Introduction

Dans le cadre du IV^e Contrat de Plan Etat-Région, le BRGM a initié une cartographie de l'aléa régionale à la demande du Conseil Régional PACA et de la DREAL PACA. Ce travail est également financé par le BRGM dans le cadre de sa mission de service public.

Pour mener à bien le travail de cartographie, la région a été divisée en trois grands domaines géologiques traités successivement : Provence calcaire et rhodanienne en 2007, Zone alpine en 2009 et enfin la Provence cristalline en 2011².

La synthèse générale de ce programme de cartographie fait l'objet du présent rapport. Dans un premier temps les principales caractéristiques géographiques et géologiques des trois zones sont rappelées. Le chapitre suivant est consacré aux différents types de mouvements de terrain se produisant sur la région. La démarche méthodologique et son application pour la réalisation des cartes d'aléa sont ensuite présentées. Enfin, dans le but de dégager les priorités d'action en matière de gestion des risques liés aux mouvements de terrain, les principaux résultats des pré-analyses du risque réalisées sur chaque zone sont résumés.

² Rapport BRGM/RP-55710-FR (Rivet & al., 2007), Rapport BRGM/RP-56762-FR (Rivet & al., 2009), Rapport BRGM/RP-59163-FR (Rivet & al., 2011).

2. Présentation géographique et géologique des différentes zones

2.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE

Afin de mener à bien la cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain, la région a été découpée en trois zones en fonction de leurs caractéristiques géographique et géologique (Illustration 1).

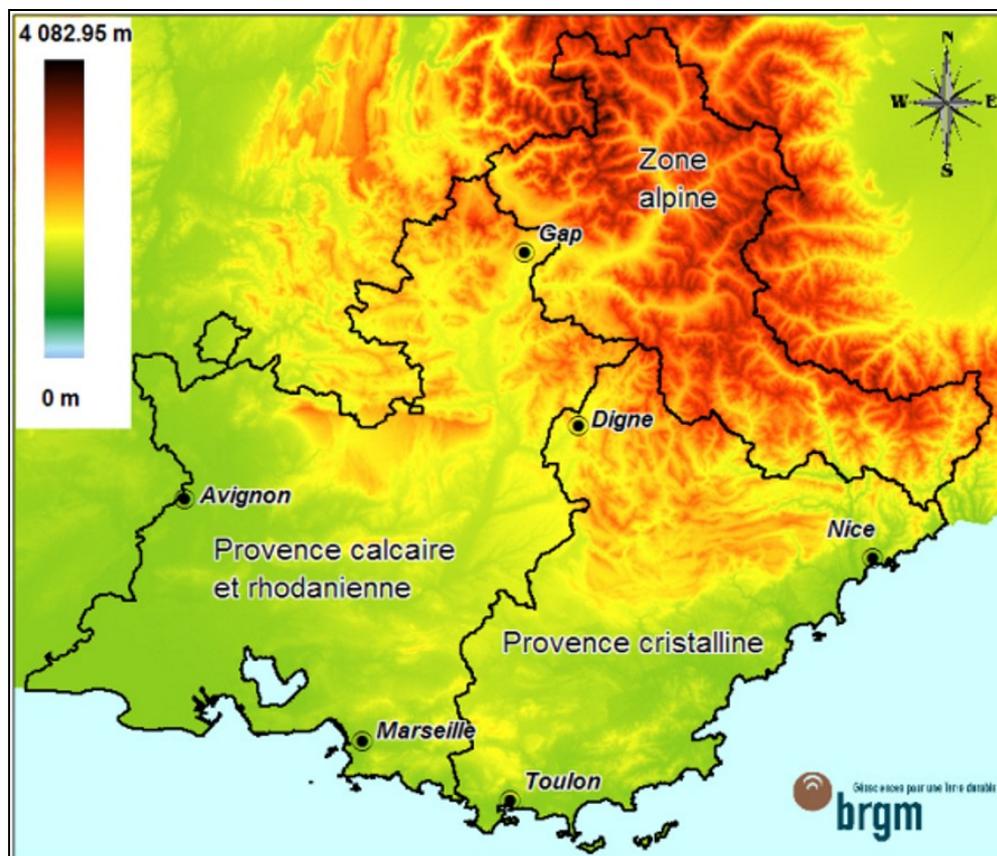


Illustration 1 : Découpage de la région en trois domaines étudiés successivement (d'après BD ALTI © - © IGN 2000)

La Provence calcaire et rhodanienne, d'une superficie estimée à 14 000 km², est marquée dans sa partie occidentale par une zone de plaines : Comtat, Camargue, Crau, plaines d'Orange et de Cavaillon ; tandis que le nord et l'est présentent un relief plus accidenté : massif des Calanques, montagnes de la Sainte-Baume et de la Sainte-Victoire au sud, Mont Ventoux et montagne du Lubéron au centre de la zone, et reliefs montagneux tels les montagnes de Lure, de l'Ubaye et le début du Dévoluy. Le point

culminant de la zone est le Pic de Bure à 2 709 m d'altitude situé dans le massif du Dévoluy (département des Hautes-Alpes).

La Zone alpine regroupe les zones de reliefs des départements alpins de la région PACA. On trouve une morphologie de haute-montagne au nord de la zone avec le massif des Ecrins (Barre des Ecrins à 4 102m, Mont Pelvoux à 3 946m), le massif du Champsaur, puis le relief s'abaisse en allant vers le sud avec les montagnes du Mercantour (sommets du Mont Pelat culminant à 3 050m), le massif de l'Argentera (Cime de l'Argentera à 3297m) et les Préalpes de Nice, typiques des reliefs de moyenne-montagne. Cette zone inclut les moitiés est des départements des Hautes-Alpes, Alpes de Haute-Provence et Alpes-Maritimes. Elle s'étend sur une surface de 7 609 km². La morphologie de la zone est façonnée par les nombreux cours d'eau qui la traversent et y déterminent des vallées de type alpin.

La Provence cristalline s'étend sur les départements du Var, Alpes de Haute-Provence et Alpes-Maritimes. Le nord – nord-est de la zone se caractérise par un relief de moyenne à basse montagne qui forme le début des préalpes du sud. Ce relief est représenté dans sa partie sud par un ensemble de courtes chaînes calcaires d'orientation est-ouest (montagne de l'Audoubert), accidentées et arides. Entre ces chaînes se nichent des bassins fertiles. Ces reliefs débutent au nord de Nice et de Grasse. Plus au nord, on entre dans le domaine des préalpes, avec des reliefs de moyenne montagne. Le point culminant de la zone se situant dans les Alpes de Haute-Provence sur le sommet de la Tête de Chabrières à 2 888 mètres d'altitude. Au sud-est de la zone se trouvent les massifs des Maures, de l'Estérel et du Tanneron. Ces massifs, cristallins pour les Maures, volcaniques pour l'Estérel et le Tanneron, présentent des altitudes plus modestes que les reliefs du nord (point culminant du massif de Maures : la Sauvette à 779 mètres d'altitude). Au nord-ouest débutent les reliefs de la Sainte-Baume. On retrouve un territoire caractéristique de la Provence à garrigues s'opposant au maquis du socle cristallin à l'est.

2.2. CADRE GÉOLOGIQUE

Chaque zone présente ses propres caractéristiques géologiques (Illustration 2). Pour une description détaillée des terrains affleurant sur chacune d'entre elles, on se reportera aux rapports d'études correspondants : Provence calcaire et rhodanienne : BRGM/RP-55710-FR, Zone alpine : BRGM/RP- 56762-FR, Provence cristalline : BRGM/RP-59163-FR.

La Provence calcaire et rhodanienne est partagée entre des formations alluvionnaires du delta du Rhône et de la Durance, et les formations sédimentaires du Tertiaire et du Secondaire.

La Zone alpine est composée de formations diverses : formations sédimentaires du Secondaire (marnes noires, calcaires), et des formations métamorphiques du socle (massif des Ecrins) formant des reliefs de haute altitude.

La Provence cristalline est partagée entre des formations cristallines au sud (massif des Maures, de l'Estérel) et des formations sédimentaires sur le reste de la zone (pélites, calcaires, marnes, gypse, formations alluvionnaires).

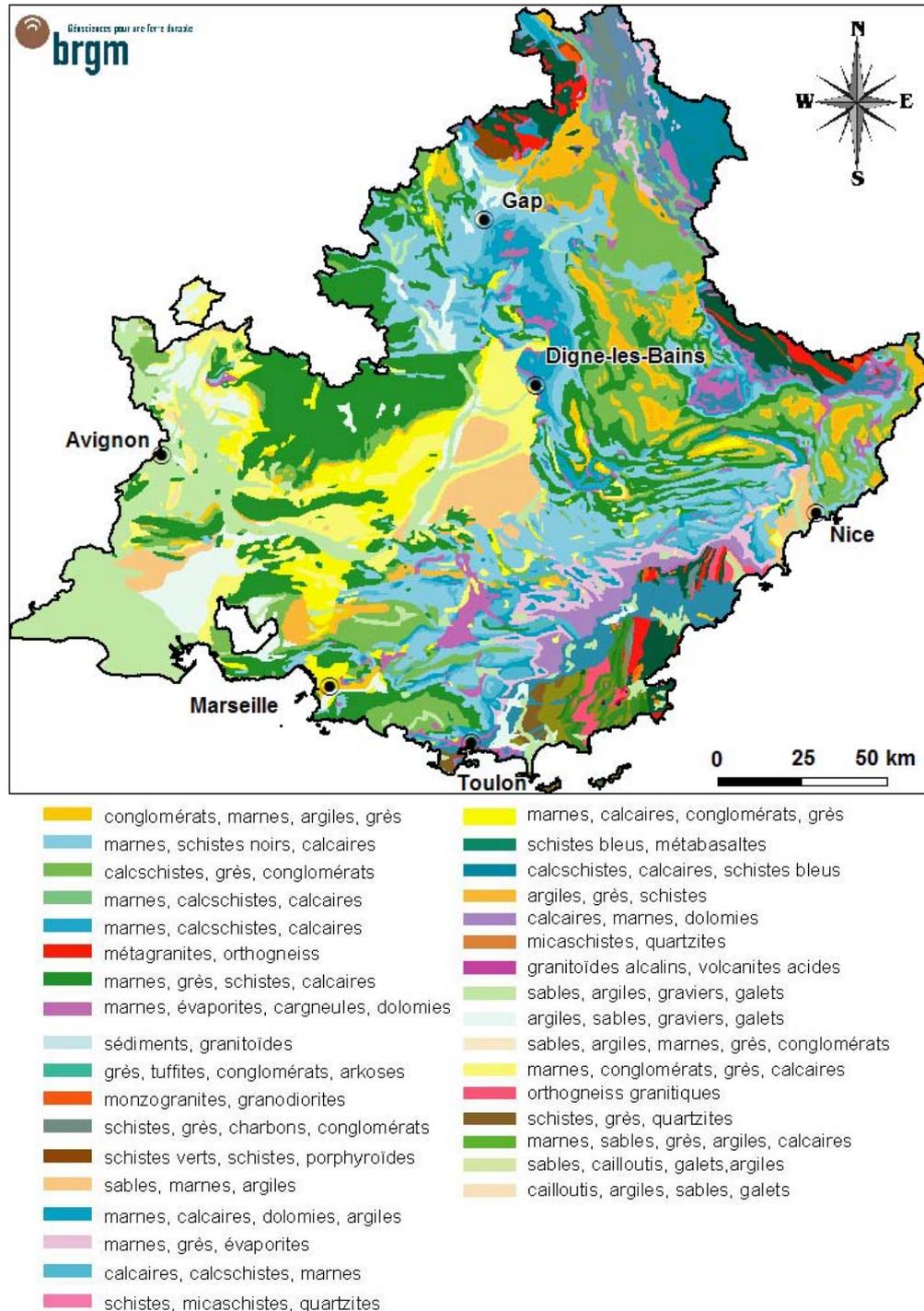


Illustration 2 : Carte géologique au millionième de la région PACA (source BRGM)

3. Typologie des mouvements de terrain étudiés

3.1. RECENSEMENT DES DONNÉES

3.1.1. Données concernant les cavités

Afin d'étudier la susceptibilité des formations aux phénomènes affaissements et effondrements associés à des cavités souterraines, un recensement des cavités souterraines d'origine naturelle ou anthropique (type carrières souterraines) est effectué sur chaque zone à partir des bases de données suivantes :

- base de données nationale sur les des cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine « hors mines » : **BD cavité** (www.cavites.fr). Cette base de données recense les cavités souterraines d'origine naturelle (karst, gouffre, aven, grottes...) ou d'origine anthropique (caves, carrières souterraines, marnières...). Ses sources de données sont principalement les inventaires départementaux financés par le MEDDTL et le BRGM, dans le cadre d'un programme pluriannuel ;
- base de données **Carol**. Cette base, mise en place par la DREAL PACA et le BRGM (carol.brgm.fr) répertorie l'ensemble des carrières souterraines ou mixtes (exploitation à ciel ouvert et souterraine) sur la région PACA.

3.1.2. Données concernant les mouvements de terrain

Source de données

Les évènements « mouvements de terrain » collectés au cours des différentes études sont issus de différentes sources :

- **Services de Restauration des Terrains de Montagne** (Services RTM de l'ONF) : présents sur les Alpes-Maritimes et les Alpes de Haute-Provence. De par leurs missions dans le domaine des risques naturels en montagne, les Services RTM ont inventorié et localisé les mouvements de terrain se produisant sur le territoire des forêts domaniales. Ces évènements sont répertoriés dans une base de données géoréférencée. ;
- **Base de données nationale sur les mouvements de terrain** BD Mvt (www.mouvementsdeterrain.fr). Cette base de données intègre, comme la BD cavité, les résultats des inventaires départementaux systématisés depuis 2001 (financement MEDDTL/BRGM), mais également des données issues d'inventaires plus ponctuels et opportunistes, alimentés principalement par les services RTM, les laboratoires régionaux des Ponts et Chaussées et les Centres d'Etudes Techniques de l'Équipement, ainsi que les Services Géologiques Régionaux du BRGM ;

- **Conseils généraux** : une consultation des dossiers relatifs aux mouvements de terrain se produisant sur le réseau routier départemental a été effectuée auprès des services de gestion du réseau routier des conseils généraux des trois départements de la zone d'étude. Ces consultations ont également été complétées par des visites de terrain accompagnées des agents techniques sur les secteurs sensibles ;
- Des **observations sur le terrain** réalisées dans le cadre de la présente étude ;
- Analyse bibliographique de différentes sources d'information : coupures de journaux, internet, thèses, articles scientifiques... ;
- Analyse des feuilles géologiques au 1/50 000 ;
- Recueil des données mouvements de terrain disponibles au **CETE Méditerranée** et pas encore intégrées dans la base BD Mvt ;
- Suite aux intempéries du Var du 15 juin 2011, plusieurs **mairies** ont signalé à la Préfecture du Var des mouvements de terrain s'étant produits sur leur commune. A la demande de la Préfecture, le BRGM s'est rendu sur place pour évaluer leur caractère exceptionnel.

Ce sont en tout près de 3 000 événements (2 930 exactement) qui ont été recensés sur l'ensemble de la région PACA répartis de la façon suivante (Illustration 3 et Illustration 4) :

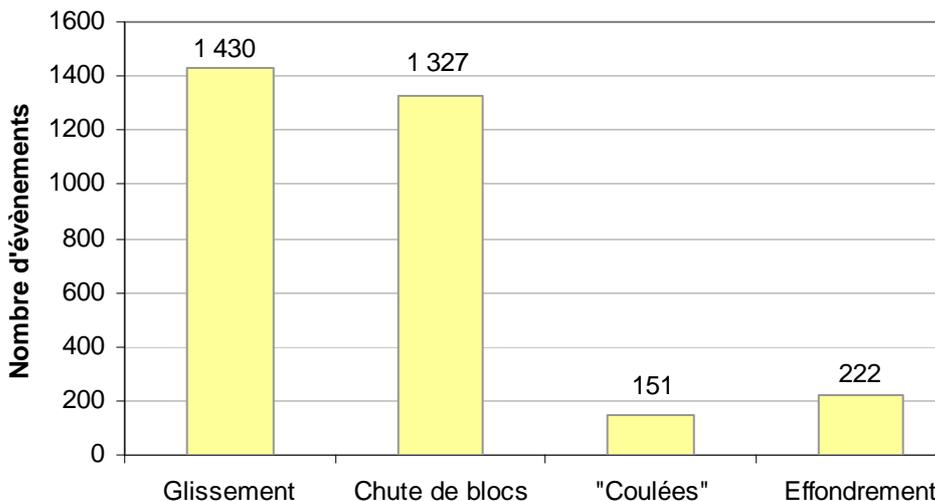


Illustration 3 : Répartition des événements mouvements de terrain en fonction de leur type

On notera que les ravinements ne figurent pas sur ce graphique (nombre d'événements recensés : 143). L'aléa lié à ce type de phénomène est très difficilement cartographiable à l'échelle régionale et n'a donc pas fait l'objet d'une carte (cf § 4.1).

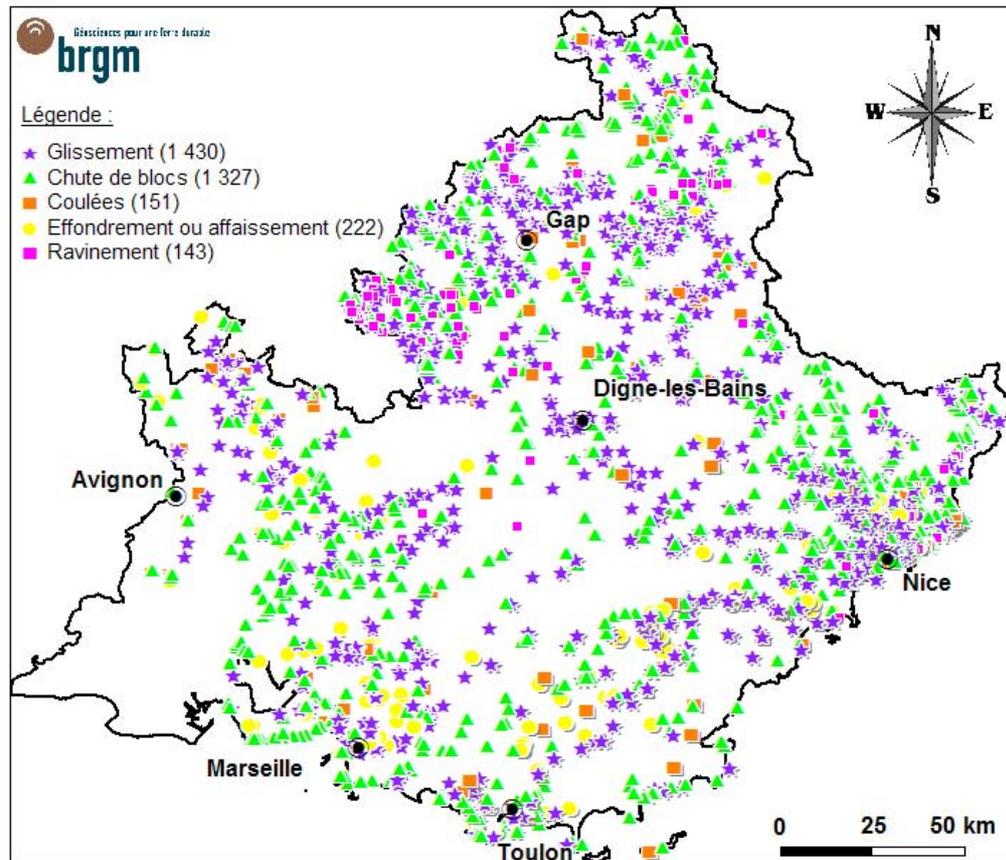


Illustration 4 : Répartition géographique des événements mouvements de terrain recensés sur la région PACA

La Provence calcaire est la zone sur laquelle on recense le plus d'évènements (1 231), ceci étant en grande partie dû à sa grande superficie (14 000 km²). Les évènements sont irrégulièrement répartis sur la zone ; le delta du Rhône, longue étendue plane, est épargné.

Les glissements sont particulièrement nombreux au sud-est de la région, dans la région de Nice et de Grasse. Ces évènements se produisent dans les formations sablo-marneuses du Tertiaire autour de Nice, et dans les formations marneuses et gypseuses du Trias dans la région de Grasse. Au nord et à l'est de la Zone Alpine, où les reliefs sont caractéristiques des reliefs de basse montagne (au sud) à moyenne montagne voir haute montagne au nord (massif des écrins), les chutes de blocs sont prédominantes, plus particulièrement le long des itinéraires routiers. On recense également des évènements récents de grande ampleur : glissements de La Clapière et de Roquebillière dans les Alpes-Maritimes, glissements de La Vallette de de Villard-des-Dourbes dans les Alpes de Haute-Provence.

Les effondrements sont fréquents sur la Provence calcaire, et principalement dus à la présence de carrières souterraines, et également sur la Provence cristalline où la

formation de cavités souterraines par dissolution du gypse entraîne des désordres en surface (effondrements de Bargemon et de Tourrettes dans le Var par exemple).

L'illustration 5 présente la répartition des évènements sur chacune des zones.

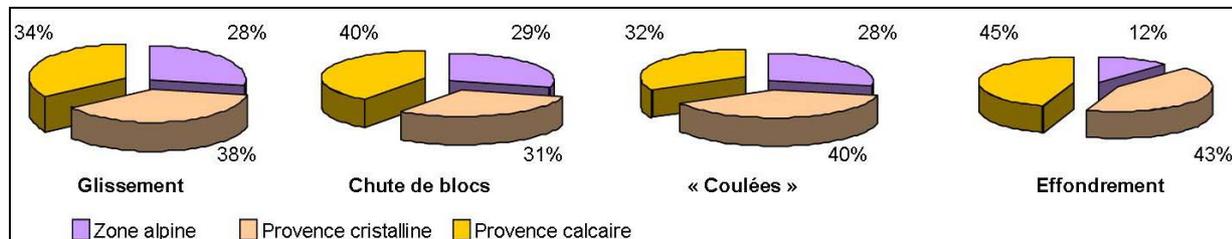


Illustration 5 : Répartition des évènements sur chaque zone d'étude

3.2. TYPOLOGIE DETAILLEE

Les principaux types de mouvements de terrain recensés sur les zones sont les suivants :

- **Glissements de terrain**
 - ⇒ Glissement superficiel
 - ⇒ Glissement-coulée
 - ⇒ Glissement rotationnel
 - ⇒ Fluage
 - ⇒ Glissement de solifluxion
 - ⇒ Glissement de versant
 - ⇒ Glissement mixte
- **Instabilités rocheuses**
 - ⇒ Chutes de pierres et blocs
 - ⇒ Eboulements
- **Coulées**
- **Effondrements et affaissements**
 - ⇒ Affaissement

⇒ Fontis

⇒ Effondrement généralisé

Chaque type de mouvements de terrain fait l'objet de fiches détaillées et illustrées qui figurent en annexe 1.

4. Démarche méthodologique

4.1. OBJECTIFS VISÉS PAR LA CARTE D'ALÉA

Pour faire face à la demande sociétale de plus en plus forte en termes de protection vis-à-vis des catastrophes naturelles, la cartographie de l'aléa représente un outil fondamental d'aide à l'information et à la décision. Selon les objectifs visés, la carte peut être réalisée à des échelles différentes :

- outil d'aide à l'orientation des décisions en termes de cartographie plus détaillée : c'est une cartographie à l'échelle d'un territoire étendu qui a pour objectif de visualiser les enjeux les plus soumis à l'aléa à l'échelle régionale. Elle représente également un document de base non négligeable pour la sensibilisation et l'information de la population sur les risques liés aux mouvements de terrain. L'échelle d'étude peut être le 1/1 000 000, le 1/250 000 ou le 1/100 000 ;
- outil d'aide à l'aménagement : la carte de l'aléa est utilisée pour visualiser les secteurs sur une zone d'étude donnée sur lesquels les phénomènes sont les plus susceptibles de se produire. Elle permet de guider le choix des secteurs à analyser à plus grande échelle (notamment l'établissement des Plans de Prévention des Risques). L'échelle la plus appropriée à cet objectif est le 1/50 000 ;
- outil d'aide à la gestion locale du risque : la carte de l'aléa est mise en œuvre sur un secteur donné (commune, tronçon routier), et permet de définir des mesures d'aménagement (zones constructibles, parades à installer), de prévision/prédiction (instrumentation du mouvement pour mesurer sa progression, bulletin d'information Météo France), information préventive (description des phénomènes dans les Document(s) d'information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)) ou encore des mesures à intégrer au plan de secours (Plan Communal de Sauvegarde (PCS)). Ces cartes sont réalisées à l'échelle du 1/25 000 voir plus.

Tout en tenant compte des ces différents objectifs, il n'existe pas de méthode générique qui permettrait de réaliser à moindre frais une carte d'aléa mouvements de terrain. En effet, les phénomènes d'instabilité sont trop mal appréhendés, notamment en ce qui concerne la composante temporelle, pour prétendre à la définition d'un mode d'emploi universel.

La carte réalisée dans le cadre de l'étude a pour objectif d'informer le public et les gestionnaires sur les zones soumises aux mouvements de terrain à une échelle compatible avec la taille de la région.

L'échelle régionale utilisée est le 1/100 000 (1 cm pour 1 km). A cette échelle, l'évaluation ne peut être que qualitative et les règles d'évaluation ne peuvent être qu'empiriques et relèvent du jugement d'expert. La démarche suivie procède donc d'une « approche d'expertise » (BRGM, 2002, Projet PACTES). Elle repose sur l'expérience de l'expert qui se base sur des observations de terrain et raisonne par analogie avec des mouvements similaires observés, en fonction de son expérience. Le procédé est ainsi partiellement subjectif mais il permet un va-et-vient incessant entre l'approche globale, la description détaillée de l'affleurement et l'analyse des événements passés. De plus, il est possible d'adapter et de moduler à souhait la méthode en fonction du contexte. Dans certains cas, l'expertise peut s'appuyer sur des critères explicites simples (facteurs déterminants) et sur des croisements de type SIG.

4.2. FACTEURS D'INSTABILITE

L'analyse des mouvements de terrain permet de mettre en évidence certaines conditions de site favorables à l'apparition de tel ou tel phénomène d'instabilité (Colas, 2008). On peut classer ces facteurs d'instabilités en deux catégories :

- les facteurs permanents : ou très lentement variables, caractérisant la prédisposition d'un site aux instabilités (relief, nature géologique ...) ;
- les facteurs variables dans le temps (séismes, modifications anthropiques), pouvant jouer le rôle de déclencheur des mouvements. La présence d'eau dans les sols est par elle-même un facteur d'instabilité. En général sa présence est le plus souvent permanente dans les formations sujettes aux mouvements de terrain. Par contre sa quantité (son régime d'écoulement) dans les formations varie en fonction du climat, cette variation est souvent un facteur déclenchant. Il est à noter que seuls les facteurs permanents et les facteurs variables sur de courtes périodes (variation saisonnière de la présence d'eau dans les formations impliquées par exemple) sont pris en compte dans la cartographie d'aléa.

Ces facteurs sont détaillés dans les deux paragraphes qui suivent.

4.2.1. Facteurs permanents (ou de prédisposition)

Les principaux facteurs permanents (inhérents au milieu) sont :

- la **pesanteur** qui constitue le moteur essentiel des mouvements de terrain qualifiés souvent d'ailleurs de « mouvements gravitaires » ;
- l'**eau**, qui joue plusieurs rôles et dont l'action affecte de manière variable le comportement des terrains soumis à son action :
 - ⇒ action mécanique : elle entraîne les particules de sols sous l'effet du ruissellement de surface (ravinement, érosion) ou circulation souterraine (suffosion), par création de pressions interstitielles au sein des sols ou des

massifs rocheux (cas de fractures en charge, présence de nappes sub-affleurantes...) modifiant l'équilibre mécanique des versants par diminution de la résistance au cisaillement des sols dans le cas de glissement ou encore par saturation des terrains augmentant leur poids, moteur des mouvements ;

⇒ action physico-chimique : altération des roches (hydrolyse conduisant à la formation d'argiles) régissant la modification du comportement mécanique des terrains superficiels, saturation progressive de terrains induisant une diminution des paramètres mécaniques (diminution de la cohésion des terrains saturés par exemple) ;

⇒ action chimique : remarquable dans la dissolution des sols gypsifères notamment, puisque à l'échelle humaine (quelques dizaines d'années) des cavités volumineuses peuvent se former sous l'effet de circulations d'eaux souterraines, ou beaucoup plus lente (plusieurs milliers d'années) dans le cas de la dissolution des carbonates (formation des réseaux karstiques – karst) ;

- la **lithologie** et l'agencement des matériaux au sein des formations. Les lithologies des terrains régissent assez directement leur susceptibilité vis-à-vis des mouvements de terrain : marne, argile, substratum schisteux, alternance de matériaux tendres et rocheux (molasses par exemple), formations superficielles (colluvions, éboulis, moraines, produits d'altération) seront sensibles aux glissements de terrain alors que calcaires, dolomies, marbres granites (roches dites compétentes) seront pour leur part plus sensibles aux éboulements et chutes de blocs par exemple. La granulométrie des matériaux est également prépondérante pour l'évolution de masses glissées en coulée de boues ou pour que le soutirage vers un karst soit possible ;
- la **structure des terrains** : que ce soit à l'échelle de l'empilement des formations géologiques (contact entre les produits d'altération perméables et les terres noires du Jurassique) ou à l'échelle de l'affleurement - talus routier - (alternance de bancs de calcaires décimétriques et joint) essentiel dans la prédisposition à tel ou tel type de mouvement de terrain. Au-delà de ces séquences stratigraphiques (dépôts successifs des couches géologiques), les discontinuités d'origine tectonique (failles, fractures, fissures) affectent l'ensemble des formations et conditionnent également leur prédisposition à l'apparition de mouvements de terrain. La densité de fracturation, l'orientation et le pendage des couches conditionnent le type de mouvement et les volumes susceptibles de s'ébouler par exemple ;
- la **présence de cavités souterraines** : d'origine anthropique (ou naturelle) conditionne en grande partie tous les phénomènes d'affaissement / effondrement, mais peut également être un facteur de prédisposition à l'apparition de glissement de terrains. La taille, la profondeur des cavités et le mode d'exploitation pour les carrières souterraines sont autant de critères à prendre en compte, mais la géométrie et le comportement des

terrains de couverture (lithologie) et la présence de nappes (eau dans le sol) par exemple sont autant de facteurs essentiels à l'apparition de désordres en surface ;

- la **morphologie** des terrains, puisque la gravité est le moteur principal : la morphologie conditionne en grande partie l'apparition de mouvements de terrain (hors retrait-gonflement des sols argileux). La pente est essentielle dans la stabilité d'un versant car elle régit directement l'équilibre des efforts mécaniques (moteurs et résistants). A cet égard, dans le cas des glissements de terrain, on note fréquemment un seuil dans les valeurs de pentes favorables à l'apparition du mouvement : des pentes plus faibles sont stables et des pentes plus fortes n'existent plus car déjà glissées. Il faut cependant se garder de toute analyse systématique et garder à l'esprit l'importance des mécanismes mis en jeu : certains glissements de terrain comme le fluage des sols argileux par exemple peuvent se manifester sur de très faibles pentes ;
- le **couvert végétal** : sa présence peut assurer un rôle de protection contre les mouvements ou au contraire contribuer à leur possible apparition. En effet, la présence de végétation, selon son type, peut favoriser ou non le ruissellement de surface et donc limiter l'infiltration d'eau dans le sol, et par conséquent influencer sur un des facteurs permanents majeurs identifiés qu'est la présence d'eau dans le sol. De même, par action mécanique, les racines profondes peuvent fixer les sols et les couches superficielles favorisant la stabilité des terrains argileux par exemple, mais à l'inverse elles peuvent s'insinuer au sein des fractures rocheuses d'une falaise et contribuer à sa déstabilisation. Enfin signalons l'effet bénéfique, sans la surestimer toutefois, de la présence d'arbres en versant contre la propagation des blocs rocheux – de petite taille – dans les pentes.

4.2.2. Facteurs variables dans le temps (de déclenchement)

Ils déclenchent l'instabilité ou provoquent une accélération marquée des mouvements conduisant à la rupture.

On distingue :

- les **précipitations** : de nombreux événements se produisent suite à des épisodes pluvieux intenses ou suite à de longues périodes humides. La pluie n'est pas directement responsable du mouvement mais elle agit sur le facteur permanent qu'est l'eau dans le sol. Cette action, caractérisée par la pluie efficace (c'est-à-dire la part de la pluie s'infiltrant dans le sol) se concrétise par l'augmentation des pressions interstitielles ou la mise en charge de cavités souterraines par exemple. Il est important de remarquer également que cette action est différée, et ce d'autant plus si les phénomènes à l'origine des mouvements se trouvent à grande profondeur. C'est ainsi que les précipitations ont des effets souvent instantanés sur les mouvements de terrains les plus superficiels (glissement superficiels, chute de blocs, et l'on amalgame les précipitations avec les effets qu'elles ont dans les formations géologiques) alors

que ces actions sont souvent différées et doivent être cumulatives pour que les mouvements ayant des causes plus profondes (glissement profonds et de grande ampleur notamment) se concrétisent.

- la **neige** – en particulier pendant la période de fonte – « recharge » les nappes et influe sur les pressions interstitielles. La part de ruissellement des eaux de fonte, au même titre que les précipitations, est également à considérer de par son action érosive locale (ravinement, érosion différentielle) mais également par les phénomènes d'érosion de berges sapant les pieds de versant plusieurs kilomètres en aval des zones effectivement soumises aux précipitations.
- la **température** : et surtout ses variations. Il est admis que les contrastes de température accentuent le déclenchement de chutes de pierres et de blocs par les dilatations différentielles qu'ils provoquent. Les périodes de gel-dégel contribuent également à l'apparition de phénomènes par augmentation des contraintes mécaniques des zones gélives. En relation avec ces effets, on peut noter dans certaines zones une différence dans la fréquence des phénomènes selon l'orientation des versants, les versants orientés vers le sud subissant des contrastes journaliers élevés et des événements en général plus fréquents que ceux exposés vers le nord. La fonte des neiges, contribuant à l'apport d'eau aux sols, est également bien entendu directement liée à ce paramètre de température.
- les **séismes** : les vibrations provoquées par les séismes peuvent être responsables du déclenchement de glissements, éboulements ou effondrements de terrains, soit par action directe (accélération sismique affectant le sol et modifiant l'équilibre statique des pentes), soit par action indirecte en modifiant les écoulements souterrain et les pressions interstitielles par exemple.
- l'**action humaine** : peut être considérée comme un des facteurs principaux de déclenchement des phénomènes d'instabilités quels qu'ils soient. On peut notamment signaler :
 - les modifications de la morphologie des versants naturels par les travaux de terrassement (talutage en pied de versant supprimant l'effet mécanique de butée naturelle de pied, création et reprofilage de talus routier, surcharge en remblai dans les pentes ...) ;
 - vétusté des installations dans les excavations souterraines anthropiques (carrières, mines). Elle se traduit par la dégradation des systèmes de soutènements, l'altération accélérée des massifs autour des excavations... ;
 - les modifications des conditions de circulations d'eau dans le sol : fuite des réseaux d'adduction en eau potable, des rejets d'eaux pluviales, pompages...

- ébranlements provoqués par les tirs de mines provoquant des chutes de pierres et de blocs.
- d'autres facteurs, peuvent favoriser plus indirectement les instabilités des terrains et en particulier les incendies qui modifient le couvert végétal, la mise en culture des terrains ou le déboisement, et plus marginalement le foussement d'animaux participant à l'érosion des sols et la remobilisation de blocs en versant.

Naturels ou anthropiques, ces facteurs ne seront que peu ou pas pris en compte pour l'établissement de la carte d'aléa mouvements de terrain. En effet, leur répartition spatiale est mal connue et peut présenter de grandes variabilités locales incompatibles avec l'échelle du 1/100 000.

4.3. DEMARCHE RETENUE

La caractérisation de l'aléa associé à un type de mouvement de terrain passe par l'analyse des facteurs permanents et variables, et des lois qui régissent leur interaction.

La réalisation de la carte résulte donc d'un compromis entre les données disponibles sur la région (événement « mouvement de terrain », MNT de l'IGN,...) et les facteurs déterminants qui ont pu être dégagés de l'interprétation de l'inventaire des phénomènes et des observations de terrain.

Au 1/100 000, les facteurs déterminants pris en compte sont

- la géologie : lithologie et stratigraphie ;
- la morphologie : pentes des terrains, zones rocheuses, occupation du sol (départ possible des blocs en zone dénudée);
- la présence ou non de cavités souterraines (aléa « affaissement et effondrement »).

Les autres facteurs tels que la circulation d'eau, l'état d'altération des matériaux ou la présence de discontinuités structurales ou sédimentaires sont des facteurs très locaux qui ne peuvent être pris en compte à cette échelle (cf. & 4.2).

Cette étude ne permet donc pas d'estimer l'intensité et la fréquence des phénomènes (aléa s.s.) mais simplement d'établir une présomption spatiale sur leur possibilité d'apparition. À cette échelle seront donc en réalité cartographiées les zones potentiellement exposées aux phénomènes (carte de susceptibilité aux mouvements de terrain) et non l'aléa s.s.. Ainsi, l'échelle du 1/100 000 apporte une vision globale de la répartition des zones susceptibles d'être affectées par des phénomènes de mouvements de terrain sur l'ensemble de la région, servant de support à des actions d'information et de sensibilisation sur les risques « mouvements de terrain ».

La méthodologie suivie pour établir la susceptibilité des formations aux mouvements de consiste à établir pour chaque type de mouvement de terrain, une carte d'aléa binaire – aléa présent et aléa faible à nul. Elle représente la localisation préférentielle d'un phénomène potentiel.

En ce qui concerne le ravinement, il a été décidé de ne pas en cartographier l'aléa associé. En effet, ce phénomène n'est réellement dangereux que par les coulées boueuses qu'il est susceptible de générer, coulées qui font l'objet d'un traitement spécifique (cf. § 5.3). D'autre part, même si certaines formations géologiques sont plus sensibles à l'érosion que d'autres, toutes sont susceptibles de produire des sols ou d'être recouvertes par des colluvions également soumises à l'érosion. Cette trop grande variabilité ne peut s'exprimer au 1/100 000, ce qui par ailleurs nous a conduit à ne pas établir une hiérarchisation plus fine des niveaux d'aléa des autres phénomènes.

Une carte donc été élaborée pour chacun des phénomènes mouvements de terrain définis au § 3.1.2. :

- carte des zones potentiellement exposées aux glissements de terrain ;
- carte des zones potentiellement exposées aux instabilités rocheuses ;
- carte des zones potentiellement exposées aux « coulées » ;
- carte des zones potentiellement exposées aux effondrements et affaissements.

La restitution s'effectue à la maille de 50 m (donnée de base topographique dérivée du MNT de l'IGN).

5. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain

5.1. ALÉA GLISSEMENTS DE TERRAIN

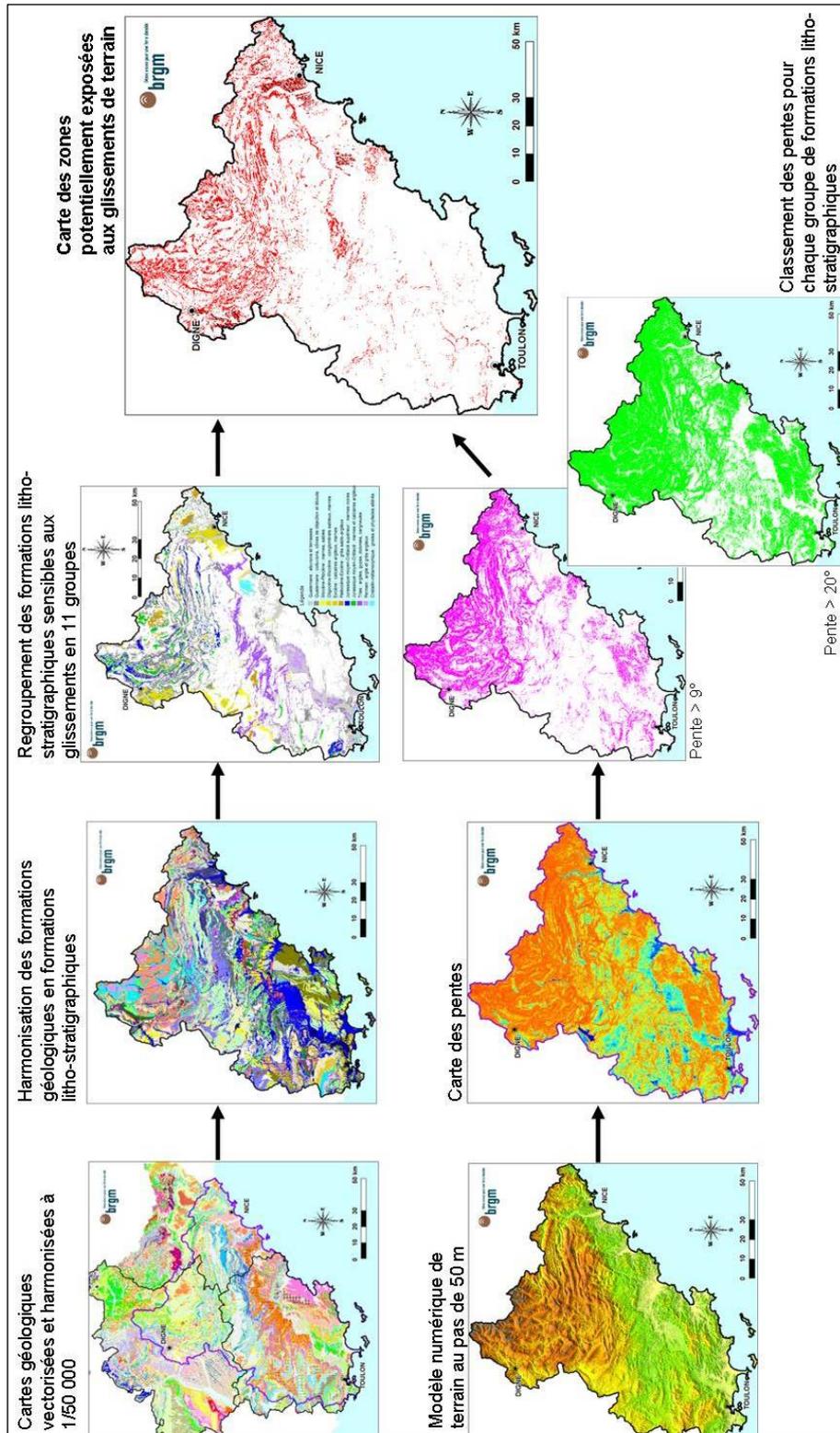
5.1.1. Démarche

Les cartes de la susceptibilité des formations aux glissements sont réalisées selon les étapes suivantes :

- Recensement des glissements cartographiés sur les cartes géologiques en tant que « glissements actifs » ;
- Identification des formations sensibles au phénomène ;
- Regroupement des faciès sensibles aux glissements en fonction de leurs caractéristiques litho-stratigraphiques (âge et nature de la formation) et de leur comportement mécanique vis-à-vis des glissements ;
- Analyse « litho-pente » : évaluation des classes de pentes sensibles aux glissements de terrain pour chaque formation et à l'aide d'une valeur de pente seuil ;
- Réalisation de la carte de susceptibilité des formations aux glissements.

Un schéma synthétique des différentes étapes de l'élaboration de la carte d'aléa glissement est proposé sur l'illustration 6. La démarche est illustrée sur la Provence cristalline. La carte régionale de l'aléa glissement figure sous format A0 en annexe (carte 1). Les événements glissements de terrain et également « coulées » marquants y sont illustrés.

L'aléa glissement de terrain affecte 33 % de la surface totale de la zone alpine, 10 % de la Provence calcaire et rhodanienne et seulement 9,5 % de la Provence cristalline.



5.2. ALÉA INSTABILITÉS ROCHEUSES

5.2.1. Démarche

Une analyse type lithologie/pente est menée pour définir la capacité de certains secteurs à produire des pierres et blocs susceptibles de se propager, complétée par une évaluation des surfaces sur lesquelles se propageront les produits issus des éboulements de barres rocheuses.

Seules les zones de départ et les zones de propagation les plus probables sont cartées en tant que zones potentiellement exposées aux instabilités rocheuses.

La démarche est la suivante :

- Identification des faciès sensibles aux déclenchements de chutes de blocs et éboulements en fonction de leur caractéristique litho-stratigraphique (âge et nature de la formation) et de leur comportement mécanique vis-à-vis des instabilités rocheuses ;
- Analyse « litho-pente » : détermination de la pente limite au-delà de laquelle les éléments rocheux produits sont susceptibles de se propager
- Identification des barres rocheuses sur les cartes et orthophotos de l'IGN© (échelle du 1/25 000) ;
- Cartographie des zones de propagation les plus probables des produits issus des chutes de blocs et éboulements ;
- Réalisation de la carte de susceptibilité des formations aux instabilités rocheuses.

La carte d'aléa est obtenue à partir des zones de départ et de réception définies en zones potentiellement soumises au phénomène. La démarche est illustrée sur l'illustration 7. L'exemple est pris sur la zone alpine. Sur cette zone, la cartographie de l'aléa chute de blocs réalisée au 1/50 000 sur le bassin de la Roya (Terrier, 2002) a été intégrée.

La carte régionale de l'aléa chute de blocs figure au format A0 en annexe (carte 2). Les évènements chutes de blocs et éboulements marquants y sont illustrés.

L'aléa chute de blocs est principalement présent sur la Zone alpine et la Provence calcaire et rhodanienne puisqu'il représente respectivement 34 % et 19 % de leur surface totale, tandis qu'il n'occupe que 8 % de la Provence cristalline.

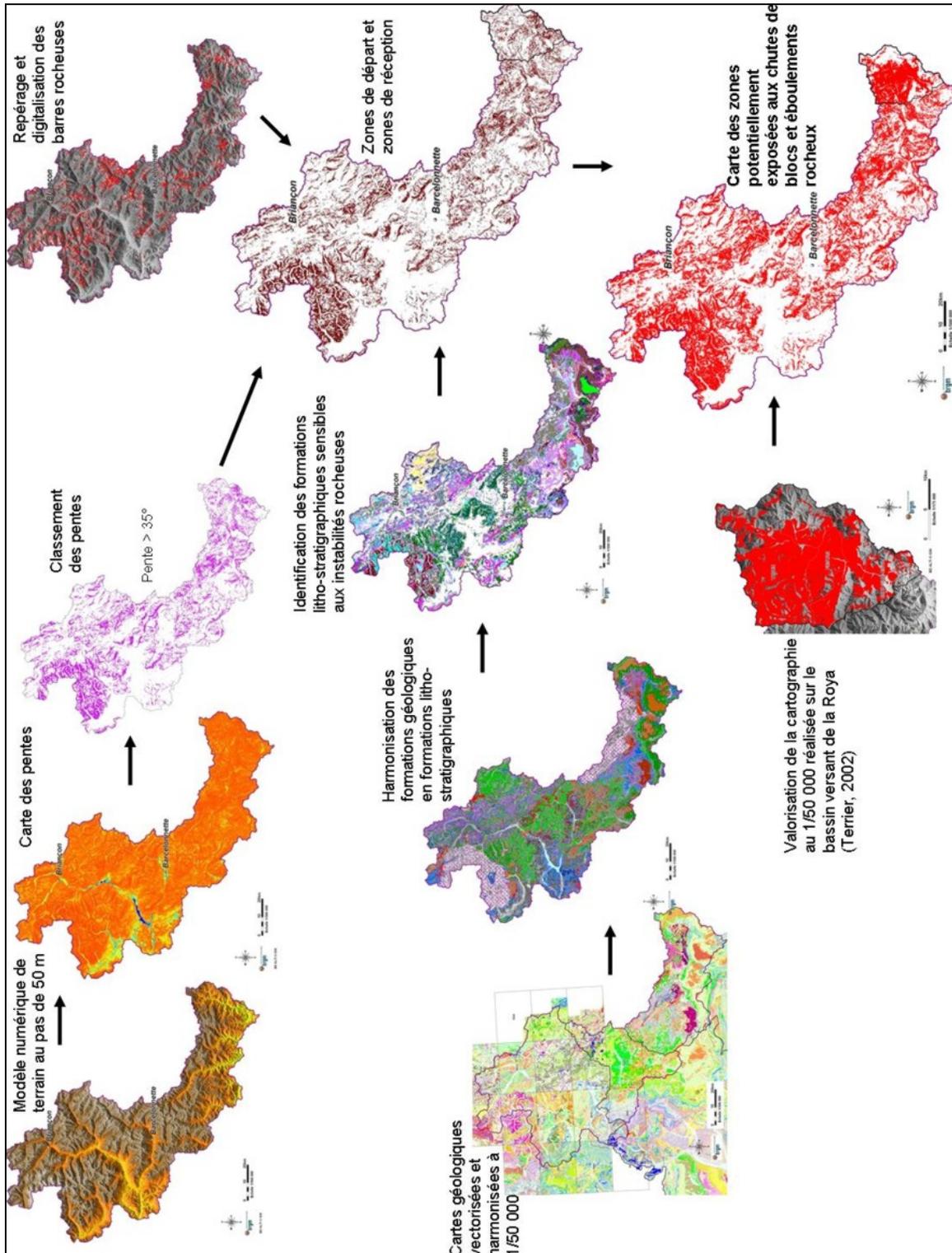


Illustration 7 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa instabilités rocheuses (exemple sur la zone alpine)

5.3. ALÉA « COULEES »

La cartographie de l'aléa « coulées » intègre les phénomènes naturels tels que coulées de boues et charriages torrentiels concentrés (coulées de débris).

Les conditions suffisantes pour qu'un bassin versant soit susceptible de générer ce type de phénomène sont : superficie minimale du bassin versant de 2,5 ha associé à une pente de 10°. Une homogénéisation globale de l'aléa « coulées » est réalisée sur l'ensemble des zones : Provence calcaire et rhodanienne, Zone alpine et Provence cristalline). La démarche suivie pour réaliser la carte des zones potentiellement exposées aux phénomènes de « coulées » est décrite sur l'illustration 8. L'exemple pris est celui de la Provence calcaire et rhodanienne.

Il convient de rappeler que l'appréciation de l'aléa est réalisée hors de toute considération géologique, la répartition géographique des événements ne mettant pas en évidence de variation de la susceptibilité en fonction des faciès. Les critères morphologiques (densité et encaissement du réseau hydrographique) ont été jugés prédominants. A plus grande échelle, la prise en compte des critères géologiques et des données d'occupation du sol permettrait cependant une hiérarchisation du niveau d'aléa pour ce phénomène (faible, moyen, fort).

L'aléa « coulée » touche la Provence calcaire et rhodanienne avec 20 % de sa surface totale concernée, puis la Provence cristalline sur 19 %, et ne représente que 6 % de la Zone alpine.

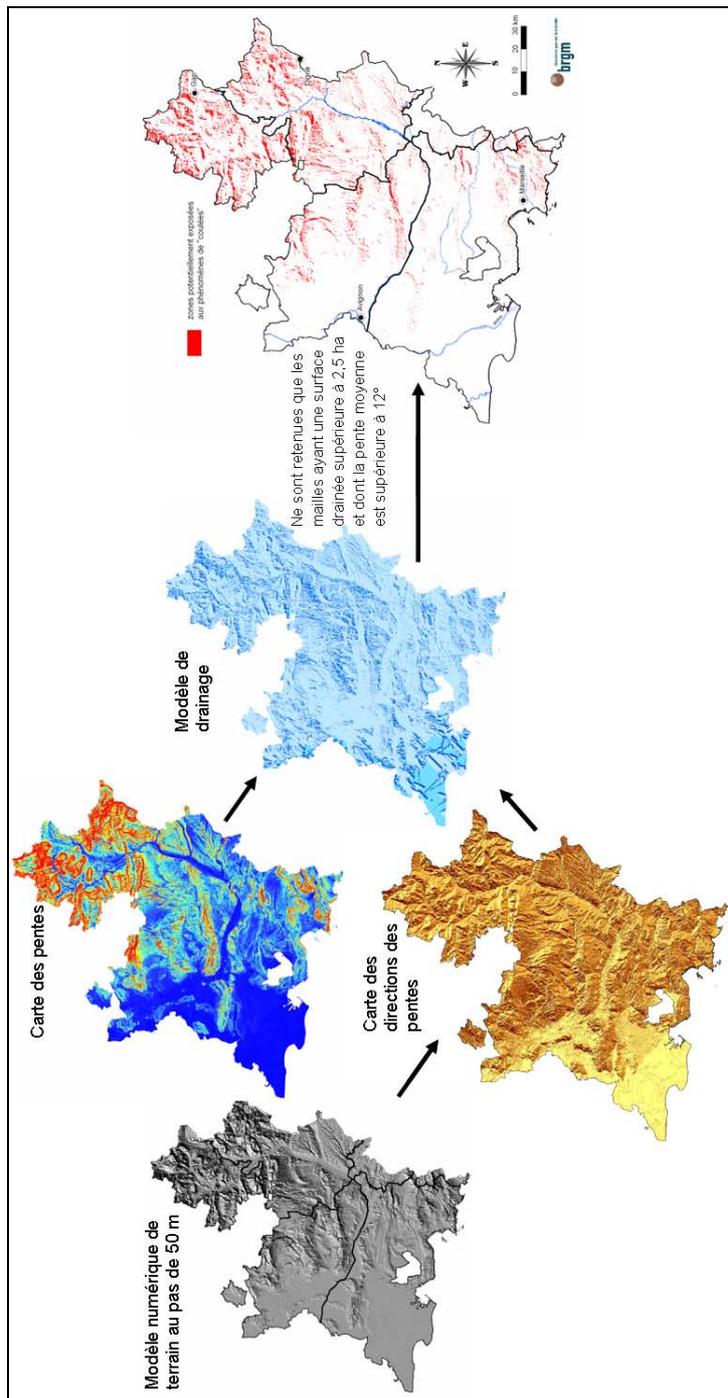


Illustration 8 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa « coulées »

5.4. ALÉA EFFONDEMENTS ET AFFAISSEMENTS LIÉS À DES CAVITÉS SOUTERRAINES

La démarche suivie pour l'élaboration de carte d'aléa est la suivante :

- Identification des formations susceptibles de renfermer des cavités naturelles : karsts calcaires et évaporites, avec un « tampon » périphérique tenant compte de l'incertitude sur les limites exactes de ces formations ;
- Identification des formations susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines ;
- Réalisation de la carte d'aléa effondrement et affaissement liés à des cavités souterraines.

Il convient d'insister sur le fait qu'à l'échelle de travail (1/100 000), c'est la susceptibilité de présence de cavités naturelles au sein des formations qui est représentée et non l'aléa sensu-stricto (probabilité d'effondrement). La carte des zones potentiellement exposées aux phénomènes effondrement et affaissement est réalisée à partir de la localisation des formations géologiques favorables à l'apparition de cavités souterraines naturelles avec un « tampon périphérique » et des formations susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines.

La carte régionale de l'aléa effondrement figure au format A0 en annexe (carte 3). Les événements effondrement ou affaissement marquants y sont illustrés.

La Provence cristalline est la première zone concernée par l'aléa effondrement - 41 % de sa surface est. L'aléa est également bien présent sur la Provence calcaire et rhodanienne avec 20 % de sa surface concernée. Sur la Zone alpine, où l'aléa concerne principalement les formations calcaires karstiques, l'aléa occupe 32 % de la surface totale de la zone.

5.5. VÉRIFICATION ET CORRECTIONS CARTOGRAPHIQUES

Pour chaque zone, les cartes des zones potentiellement exposées aux phénomènes type glissements de terrain et chute de blocs et éboulements rocheux ont fait l'objet de vérifications sur le terrain afin de valider le tracé des contours issus du traitement S.I.G. Les zones de propagation notamment ont été vérifiées tout en tenant compte du fait que l'échelle du 1/100 000 ne peut impliquer une vérification exhaustive.

Les principales anomalies repérables à l'échelle du 1/100 000 ont ainsi pu être corrigées, cependant, il se peut que des anomalies persistent localement.

D'autre part, dans le cadre de ce rapport de synthèse, une comparaison des cartes d'aléa obtenues sur l'ensemble de la zone d'étude a été réalisée : Provence calcaire et rhodanienne, Zone alpine et Provence cristalline. Les frontières entre les cartes sont examinées afin de détecter les hiatus entre les différentes zones. Dans la mesure du possible, une homogénéisation des contours des aléas est réalisée. Cependant, cette

harmonisation a des limites. En effet, la région a été découpée en trois zones d'étude définies comme des domaines de caractéristiques géographiques et géologiques comparables, et les analyses qui ont suivi pour cartographier l'aléa mouvements de terrain tiennent compte de ces caractéristiques propres à chaque zone. Ainsi, à certains endroits le long des limites entre les zones, il a été décidé de conserver les contours des cartes obtenues sur chaque zone même si ceux-ci ne sont pas homogènes d'une carte à l'autre.

6. Pré-analyse du risque

6.1. INTRODUCTION

Une des valorisations possibles de la cartographie de l'aléa mouvements de terrain est l'analyse du risque lié à ces phénomènes. Le passage de l'aléa (traduisant la prédisposition de site à l'apparition d'un phénomène) à celle de risque suppose la prise en compte de la vulnérabilité. La notion de vulnérabilité exprime le niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène naturel sur des enjeux (personnes, biens, activités, moyens de communication...)

Le choix des facteurs pour l'analyse du risque est un acte décisionnel, lié aux politiques de prévention et aux stratégies d'aménagement du territoire. En effet, les résultats peuvent s'avérer très variables selon la prise en compte prioritaire de tel ou tel critère. à l'échelle du 1/100 000 ; c'est une pré-analyse du risque qui est effectuée : l'approche de l'aléa et des enjeux est régionale.

Trois types d'enjeux ont été étudiés sur les trois zones :

- pré-analyse du risque sur les bassins de risque
- pré-analyse du risque sur les communes
- pré-analyse du risque sur les tronçons routiers

Les principaux résultats sont présentés dans les paragraphes suivants.

6.2. PRE-ANALYSE DU RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN SUR LES BASSINS DE RISQUE

Sur la Provence cristalline et la Zone alpine, une approche du risque par bassin de risque a été abordée (Illustration 9 et Illustration 10).



Illustration 9 : Carte des bassins de risque sur la Provence cristalline

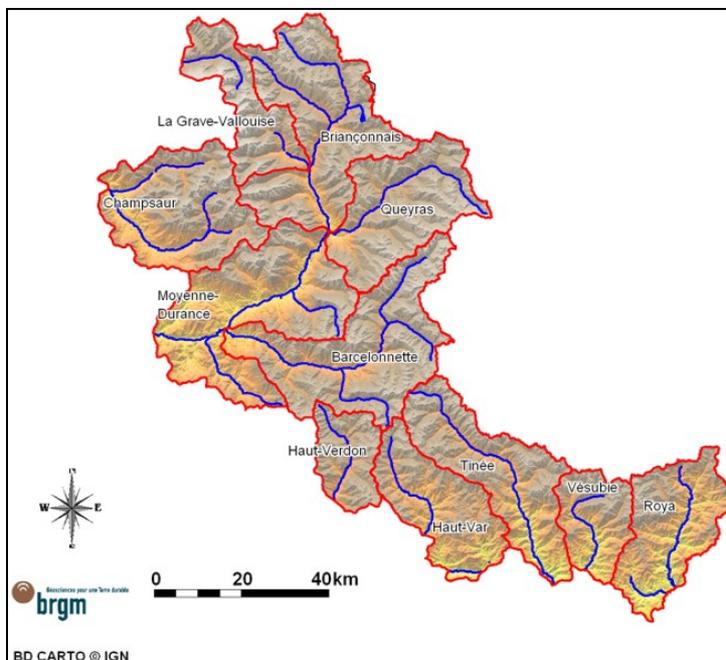


Illustration 10 : Carte des vallées alpines sur la Zone alpine

Parmi les bassins de risque les plus exposés à l'aléa mouvements de terrain en termes de surface, on distingue :

- **Concernant l'aléa glissement de terrain :**
 - la vallée de Barcelonnette : 39 % de sa surface concernée par l'aléa, principalement localisé sur les formations des marnes noires du Jurassique recouvertes de moraines (exemple du glissement de La Valette) ;
 - le littoral centre (basse vallée du Var): 29 % de sa surface en aléa glissement. Les zones concernées sont principalement situées dans les flyschs gréseux d'Annot (Menton), les poudingues marneux du Pliocène (poudingues du delta du Var), ou encore les marnes bleues pliocènes ;
 - le Haut Verdon (Digne-les-Bains) : 22,4 % de sa surface concernée. On est ici dans un contexte de moyenne montagne où les éboulis couvrent largement les versants. Les marnes noires du Jurassique (Terres noires) affleurent sur des surfaces étendues, et sont couvertes localement de leurs produits d'altération. Les circulations d'eau dans ce contexte favorisent l'apparition de mouvements gravitaires, la pente n'est pas nécessairement très forte (glissement du Villard-des-Dourbes). Également, les formations conglomératiques limoneuses de Valensole qui sont présentes au sud, sont particulièrement concernées par l'aléa glissement.
- **Concernant l'aléa chutes de blocs et éboulement**, il touche les vallées étroites creusées par les cours d'eau :
 - la vallée de la Roya - Bévéra : 53 % de sa surface concernée par l'aléa ;
 - la Grave – Vallouise : 50 % de sa surface concernée par l'aléa ;
 - le Champsaur : 44 %;
 - la Vésubie : 41 % ;
 - la Tinée : 40 % ;
 - le bassin du Var-Vésubie avec près de 44 % de surface concernée ;
 - le Haut-Verdon : 22 % ;
 - les Préalpes ouest : 18,7 % ;

- le Payes A3V et le bassin de Castellane avec respectivement 17,9 % et 14,7 % de leur surface cartographiée en aléa chutes de blocs.
- le Littoral Est : 14,4 % de sa surface concernée et localisée principalement au sud, le long des falaises littorales.
- Concernant l'**aléa « coulées »** :
 - la Grave – Vallouise : 15% de sa surface concernée par l'aléa ;
 - le Queyras : 13% de sa surface concernée par l'aléa ;
 - à l'est de la Provence cristalline, l'aléa occupe 10 à 25 % de la surface des bassins de risque.
- Concernant l'**aléa effondrement et affaissement** :
 - le Haut-Var : 14% de sa surface susceptible d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution du gypse et 39% susceptible d'abriter des karsts formés par dissolution du calcaire ;
 - la Tinée : 11% de sa surface susceptible d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution du gypse et 25% susceptible d'abriter des karsts formés par dissolution du calcaire ;
 - la Roya - Bévéra : 11% de sa surface susceptible d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution du gypse et 54% susceptible d'abriter des karsts formés par dissolution du calcaire ;
 - la Vésubie : 4% de sa surface susceptible d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution du gypse et 25% susceptible d'abriter des karsts formés par dissolution du calcaire ;
 - le bassin du Dracénois avec près de 14 % de sa surface susceptible de contenir des cavités formées par dissolution du gypse, 18,2 % susceptible de contenir des cavités de type carrières souterraines et enfin 15,4 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution du calcaire.
 - le bassin de Fayence est également concerné par l'aléa car près de 8 % de sa surface est susceptible de contenir des cavités formées par dissolution de gypse, près de 8 % susceptible de contenir des cavités de type carrières souterraines et 31 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution calcaire.
 - le bassin de la Provence verte : presque 8 % de sa surface est susceptible de contenir des cavités formées par dissolution du gypse, près de 10 % susceptible de contenir des cavités de type

carrières souterraines et 42,5 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution du calcaire.

- enfin le Littoral Est avec 7,3 % de sa surface susceptible de contenir des cavités formées par dissolution du gypse, 10,2 % susceptible de contenir des cavités de type carrières souterraines et 31,5 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution du calcaire.

6.3. COMMUNES EXPOSÉES À L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

A partir des cartes d'aléa mouvements de terrain type glissements de terrain, chutes de blocs et éboulements, « coulées » et affaissements et effondrements de cavités souterraines, on peut également calculer les surfaces communales exposées à chacun de ces aléas mouvements de terrain.

Parmi les communes les plus exposées sur la Provence calcaire et rhodanienne, on peut citer : La Javie : 97 % de la surface communale concernée ; Saint-Léger-du-Ventoux et Fontaine-de-Vaucluse : 94 % ; Digne-les-Bains : 84 % et Marseille : 45 %.

Sur la Zone alpine et la Provence cristalline, l'analyse s'est faite en distinguant les types d'aléa :

- l'aléa glissements de terrain : Breil-sur-Roya (84% de la surface communale exposée), La Brigue (78%) et Saorge (72%), vallée de la Roya – Bévéra ; Braux (55 %), Alpes de Haute-Provence ; Castagniers (53,3 %), Alpes-Maritimes ; Berres-les-Alpes (51 %), Alpes-Maritimes ; Colomars (49 %), Alpes-Maritimes
- l'aléa chutes de blocs et éboulements : Fontan (87% de la surface communale exposée) et Tende (77%), vallée de la Roya – Bévéra ; Saint-Maurice-en-Valgaudemard (77 %), vallée du Champsaur ; Sigale (59 %), Malaussène (58,5 %), Duranus (51 %) et Revest-les-Roches (50,6 %), Alpes-Maritimes.
- l'aléa « coulées » : Puy-Saint-Pierre (19% de la surface communale exposée), vallée du Briançonnais ; Puy-Saint-Vincent (16 %), vallée de La Grave – Vallouise ; La Chapelle-en-Valgaudemard (16 %), vallée du Champsaur ; Conségudes (39 %), Alpes-Maritimes.

Concernant l'aléa effondrement ou affaissement liés à des cavités souterraines, on distingue les formations susceptibles de contenir des cavités souterraines type karsts calcaires des formations susceptibles de contenir des cavités souterraines type karsts gypseux. Les effondrements ou affaissements se produisant plus souvent dans ces dernières formations compte-tenu de leur faible tenue mécanique.

Ainsi, parmi les surfaces d'affleurement des formations susceptibles d'abriter des cavités souterraines de type karst calcaire, les plus étendues sont relevées sur les communes de :

- Artigues (Var) : 99 % de la surface communale ;

- Vérignon (Var) : 98 % ;
- Roquefort-les-Pins (Alpes-Maritimes) : 95 % ;
- Bairols (Alpes-Maritimes) : 82% ;
- Saorge : 77% et Breil-sur-Roya : 75%.

Concernant les surfaces d'affleurement des formations susceptibles d'abriter des cavités souterraines de type karst gypseux les plus étendues sont relevées sur les communes de :

- Guillaume (Haut-Var) : 93 % de la surface communale ;
- Opio (Alpes-Maritimes) : 42 % ;
- Roubion (vallée de la Tinée) : 41%
- Le Rouet (Alpes-Maritimes) : 38 % ;
- Fontan (vallée de la Roya) : 35 ;
- Mouans-Sartoux (Alpes-Maritimes) : 30 %.

Concernant les surfaces d'affleurement des formations susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines, les plus étendues sont relevées sur les communes de :

- La Condamine-Châtelard (vallée de Barcelonnette) : 55% de la surface communale ;
- Chateauneuf-Grasse (Alpes-Maritimes) : 49 % ;
- Saint-Antonin-du-Var (Var) : 48 % ;
- Valbonne (Alpes-Maritimes) : 38 %.

Il est nécessaire de rappeler ici, que les surfaces d'exposition sont calculées à partir des cartes d'aléa élaborées à l'échelle du 1/100 000 ; ces résultats sont donc bien une pré-analyse du risque dans la mesure où l'échelle de travail n'est pas compatible avec une analyse du risque plus détaillée.

6.4. RÉSEAUX DE TRANSPORT EXPOSÉS À L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

Le croisement des zones potentiellement exposées à l'aléa mouvements de terrain avec le réseau de transport (réseaux routiers) met en évidence les tronçons de réseau susceptibles d'être affectés par des mouvements de terrain de type glissements de terrain, chutes de blocs et éboulement ou « coulées ». On obtient pour chaque zone les graphiques suivants (Illustration 11, Illustration 12 et Illustration 13) :

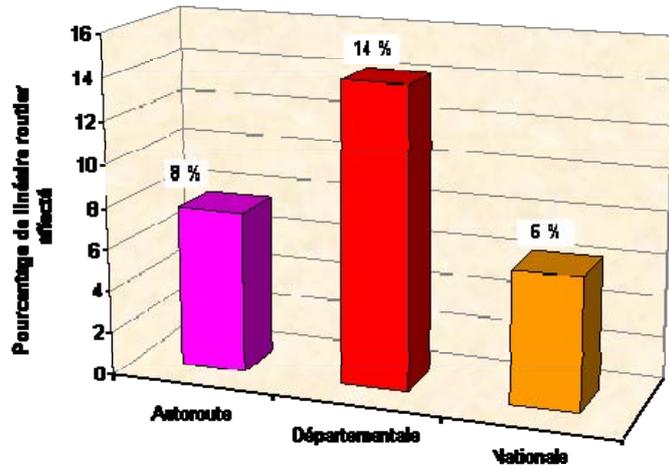


Illustration 11 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier sur la Provence calcaire et rhodanienne

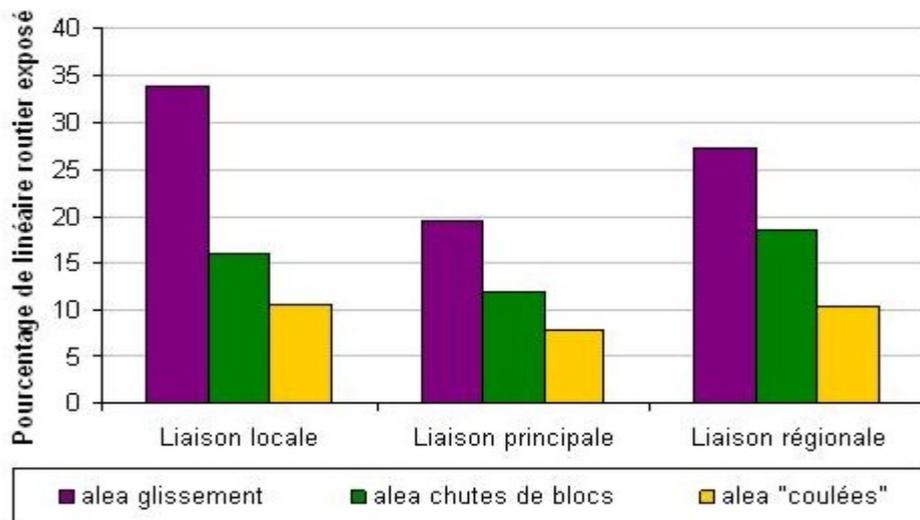


Illustration 12 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier sur la Zone alpine

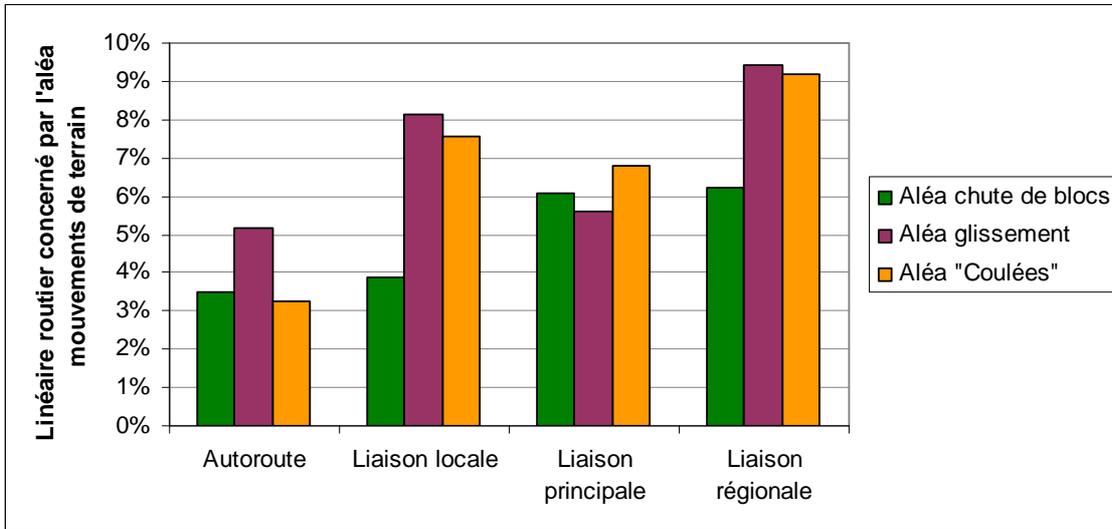


Illustration 13 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier sur la Provence cristalline

A partir de cette pré-analyse, une cartographie à plus grande échelle (1/25 000 ou 1/10 000) englobant les phénomènes locaux (type talus) dans les secteurs jugés les plus vulnérables, et la préconisation de solutions de gestion des risques associés permettraient de fournir un outil d'aide à la décision en matière de planification des investissements publics pour la prévention et la protection contre les risques liés aux mouvements de terrain.

7. Conclusions

La cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain a été menée sur trois zones étudiées successivement : Provence calcaire et rhodanienne en 2007, Zone alpine en 2009 et Provence cristalline en 2011. Les différentes cartes ont été élaborées selon la même méthodologie : identification des mouvements de terrain se produisant sur la zone et définition d'une typologie détaillée, cartographie de l'aléa s'appuyant sur les facteurs de prédisposition à l'apparition des mouvements de terrain (caractéristiques géologiques et morphologiques des terrains), vérification globale des résultats.

On obtient quatre cartes régionales de l'aléa mouvements de terrain - échelle de validité 1/100 000 - sur chacune des zones : carte d'aléa glissement de terrain, carte de l'aléa chute de blocs, carte de l'aléa « coulées » et carte de l'aléa effondrement ou affaissement. L'aléa défini est binaire : zones potentiellement exposée à l'aléa mouvements de terrain et zones de susceptibilité aux mouvements de terrain faible à nulle.

Concernant l'aléa glissement de terrain, il couvre : 33 % de la Zone alpine, 10 % de la Provence calcaire et rhodanienne, 9,5 % de la Provence cristalline. L'aléa chute de blocs touche 34 % de la Zone alpine, 19 % de la Provence calcaire et rhodanienne et seulement 8 % de la Provence cristalline. L'aléa « coulées » s'étend sur 20 % de la Provence calcaire et rhodanienne, 19 % de la Provence cristalline et seulement 6 % de la Zone alpine. Quant à l'aléa effondrement et affaissement, 41 % de la surface totale de la Provence cristalline est concernée, 32 % de la zone alpine et 20 % de la Provence calcaire et rhodanienne.

A l'issue de chaque carte d'aléa, une pré-analyse du risque est proposée. Un croisement entre les cartes d'aléa obtenues et les enjeux identifiés par grandes entités (bassin de risque, surfaces communales et linéaires routiers) est proposé. On identifie par exemple la vallée de Barcelonnette (Alpes de Haute-Provence), affectée sur environ 39 % de sa superficie par l'aléa glissements de terrain et 29 % pour la Basse Vallée du Var (Alpes-Maritimes). L'aléa chutes de blocs touche plus de la moitié des surfaces de la vallée de la Roya-Bévéra dans les Alpes-Maritimes (53 %) et de La Grave-Vallouise dans les Hautes-Alpes (50 %). Concernant l'aléa effondrement lié à la présence de cavités formées par dissolution du gypse, les bassins de risque du Haut-Var et de la Tinée sont les plus concernés avec respectivement 14 % et 11 % de leur surface totale.

Cette cartographie de synthèse permet de cibler les secteurs sensibles et fournit une aide à la décision pour l'établissement de programmes de cartographies préventive (carte d'aléa à l'échelle du 1/50 000 ou du 1/25 000) ou réglementaire (type zonage PPR). Sur ces zones, une estimation qualitative, et si possible quantifiée, des enjeux (humains, structurels, économiques) permettrait d'affiner la vulnérabilité des sites et

par conséquent de hiérarchiser le niveau de risque et à terme permettre l'optimisation des investissements publics en matière de prévention et de protection.

Il faut rappeler que cette cartographie ne peut en aucun cas se substituer à des documents de type « zonage communal » compatibles avec l'établissement de Plan de Prévention des Risques (échelle 1/10 000 à 1/25 000), et encore moins se prêter à des « zooms » à l'échelle de parcelles ou de tronçons routiers, qui seraient sans signification compte tenu de la précision des données de base valorisées et des méthodes de cartographie appliquées. La quantification de l'aléa à l'échelle des communes ou des axes routiers doit demeurer statistique, dans les zones concernées, et déboucher sur une approche déterministe du risque intégrant l'aléa local.

8. Bibliographie

Banque de Données du Sous-Sol (BRGM)

Base de Données Nationale Mouvements de Terrain BRGM / LCPC / CETE / RTM : www.mouvementsdeterrain.fr

Banque de données nationale des Cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine "hors mines" BRGM / INERIS / RTM : www.cavites.fr

Banque de données régionale des carrières et mines sur la région PACA BRGM / DREAL PACA : carol.brgm.fr

Base de données RTM – Notice Générale – Sites et événements, ouvrages. Analyse et développement informatique (2004).

Colas B., Sedan O. (2003) – « Cartographie départementale de l'aléa mouvement de terrain, Corse du Sud ». Rapport BRGM RP-52097-FR, 21 pages, 9 planches cartographiques annexées.

Colas B., Baillet L. (2008) - Cartographie de l'aléa mouvement de terrain dans la région Languedoc-Roussillon - Echelle 1/250 000. Rapport BRGM/RP-56409-FR, 146 p., 102 ill., 5 cartes hors texte, 7 annexes.

Debelmas J. (1974) – « Géologie de la France. Volume 2 : Les chaînes plissées du cycle alpin et leur avant-pays ». Edition DOIN, 544 pages.

Delpont G., Rucquoi S., Thiry J. (2006) – Cartographie de la prédisposition aux mouvements de terrain du département du Tarn. Rapport BRGM/RP-55259-FR et LRPC 20-81-129-2004/20-155.

Flageollet J-C. (1988) – « Les mouvements de terrain et leur prévention ». Edition Masson, 224 pages.

Gonzalez G. (2000) – Cartographie des risques du département des Alpes de Haute-Provence. Phénomènes naturels et principaux enjeux. Rapport BRGM/RP-50187-FR, octobre 2000. 71 pages.

Gonzales G., Marçot N. (2001) – Les risques naturels dans les Alpes-Maritimes. Cartographie des risques – Phénomènes naturels et principaux enjeux. Rapport BRGM/RP-50186-FR, juin 2001. 97 pages.

Marçot N., Gonzalez G., Gigot B. et Kozlowski S. (2002) – Les risques naturels dans le Var. Cartographie des risques – Phénomènes naturels et principaux enjeux. Rapport BRGM/RP-51762-FR, novembre 2002, 117 pages.

Marçot N. avec la collaboration de A. Girard (2010) - Rapport d'expertise pour la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle mouvements de terrain sur 5 communes du Var (Le Rayol-Canadel-sur-mer, Vidauban, Trans-en-provence, Villecroze et Tourtour) suite aux intempéries des 15 et 16 juin 2010, Marçot N. et Girard A. (octobre 2010). Rapport final BRGM/RP-59001-FR - 86 pages, 30 Ill. et 4 An.

Rivet F. avec la collaboration de Mathon C., Brevot P.-A. (2007) - Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 – Année 1 : Etude de la Provence calcaire et rhodanienne. Rapport BRGM/RP-55710-FR, 97 p., 84 illustrations, 1 annexe, 12 cartes hors-texte.

Rivet F. avec la collaboration de Mathon C. et Draperi N. (2009) - Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 – Année 2 : Etude de la Zone alpine. Rapport BRGM/RP-56762-FR, 140 p., 56 illustrations, 1 annexe, 8 cartes hors-texte.

Rivet F. avec la collaboration de C. Mirgon, A. Navarro (2011) – Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 – Année 3 : Etude de la Provence cristalline. Rapport BRGM/RP-59163-FR, 130 p., 54 ill. 8 cartes hors-texte.

Terrier M., collaborateurs Marçot N. et Sedan O. (2002) – IV^{ème} Contrat de Plan Etat-Région « Risques naturels et nuisances ». Bassin versant de la Roya (Alpes-Maritimes) : Cartographie de l'aléa mouvements de terrain, échelle 1/50 000. Rapport du BRGM, n° BRGM/RP-51971-FR. 37 p., 2 annexes.

Terrier M., collaborateurs Furic S. (2003) – IV^{ème} Contrat de Plan Etat-Région « Risques naturels et nuisances ». Bassin versant de la Roya (Alpes-Maritimes) : Cartographie de l'aléa mouvements de terrain, échelle 1/25 000. Secteurs de Breil-sur-Roya, la Brigue, Fontan, Saorge, Tende. Rapport du BRGM, n° BRGM/RP-52513-FR. 103 p., 6 annexes.

Sedan O., Terrier M. avec la collaboration de Mirgon C. (1999) – Cartographie à 1/1 000 000 de l'aléa aux mouvements de terrain de la région PACA (Provence-Alpes-Côte-D'azur). Rapport BRGM R-40702, 22 p., 8 fig., 1 annexe.

Sedan O., Martin R., Nay K.M. (2002) –Département de la Haute-Corse. Aléa mouvements de terrain. - Rapport BRGM RP-51168-FR, 25 page, 10 cartes.

Zornette N., Nédellec J.L. et Vincent M. (2002) avec la collaboration de P. Le Strat – Projet PACTES. Module : Cartographie de l'aléa « mouvements de terrain » dans le bassin versant de l'Hérault. BRGM/RP-51923-FR, 107 p., 47 fig., 7 annexes.

Annexe 1

Fiches détaillées des différents types de mouvements de terrain

Les différents types de mouvements de terrain identifiés sur les trois zones d'étude et faisant l'objet des fiches détaillées suivantes sont :

- **les glissements de terrain**
 - ⇒ Glissement superficiel
 - ⇒ Glissement-coulée
 - ⇒ Glissement rotationnel
 - ⇒ Fluage
 - ⇒ Glissement de solifluxion
 - ⇒ Glissement de versant
 - ⇒ Glissement mixte
- **les instabilités rocheuses**
 - ⇒ Chutes de pierres et blocs
 - ⇒ Eboulements
- **les « coulées »**
- **les effondrements et affaissements**
 - ⇒ Affaissement
 - ⇒ Fontis
 - ⇒ Effondrement généralisé

I. Glissement de terrain

I. 1. Glissement superficiel

Concerne généralement les formations superficielles : formation de couverture recouvrant un substratum rocheux ou meuble (exemple formation altérée sur formation saine : blocs rocheux et matériaux sablo-argileux issus de l'altération des grès d'Annot sous-jacent). L'épaisseur des matériaux mobilisés dépend du contexte mais dépasse rarement 2 mètres. Les glissements superficiels affectant les talus routiers par exemple, ne mobilisent pas plus de 0,5 m d'épaisseur de matériaux.

La surface de rupture est plane et l'écoulement des terrains se fait parallèlement à la pente.

Se produit sur forte pente (supérieure à 20°).

La surface concernée est comprise entre quelques mètres carrés (glissement de talus routier) et peut aller jusqu'à l'hectare (glissement d'un pan de versant)

Facteur permanent : couverture de formations meubles sur forte pente.

Facteur déclenchant :

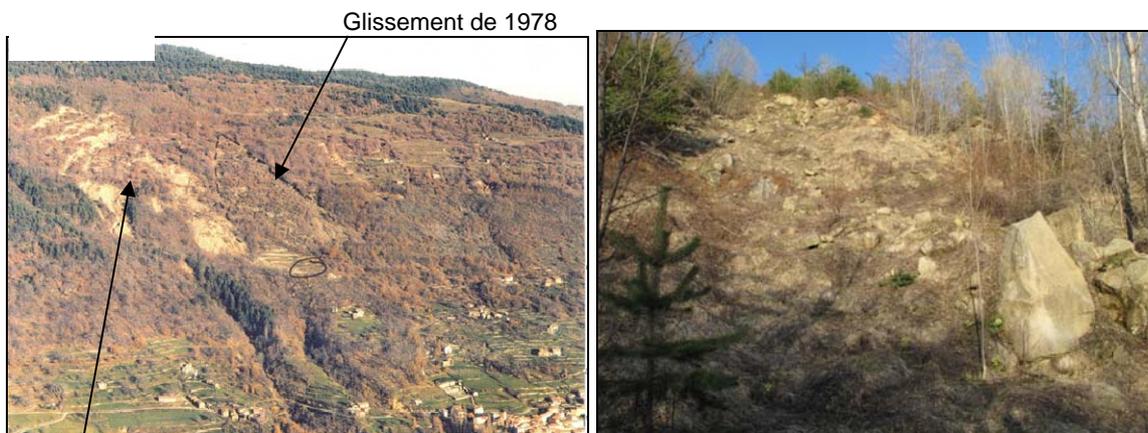
- concentration d'eau de ruissellement,
- modification du profil de pente d'origine naturelle : passage d'un torrent en pied qui en creusant son lit provoque l'affouillement du pied de versant et le déséquilibre des formations affleurantes,
- modification du profil de pente par travaux : déblai routier.

Facteur aggravant : présence d'un cours d'eau en pied de pente, déforestation.

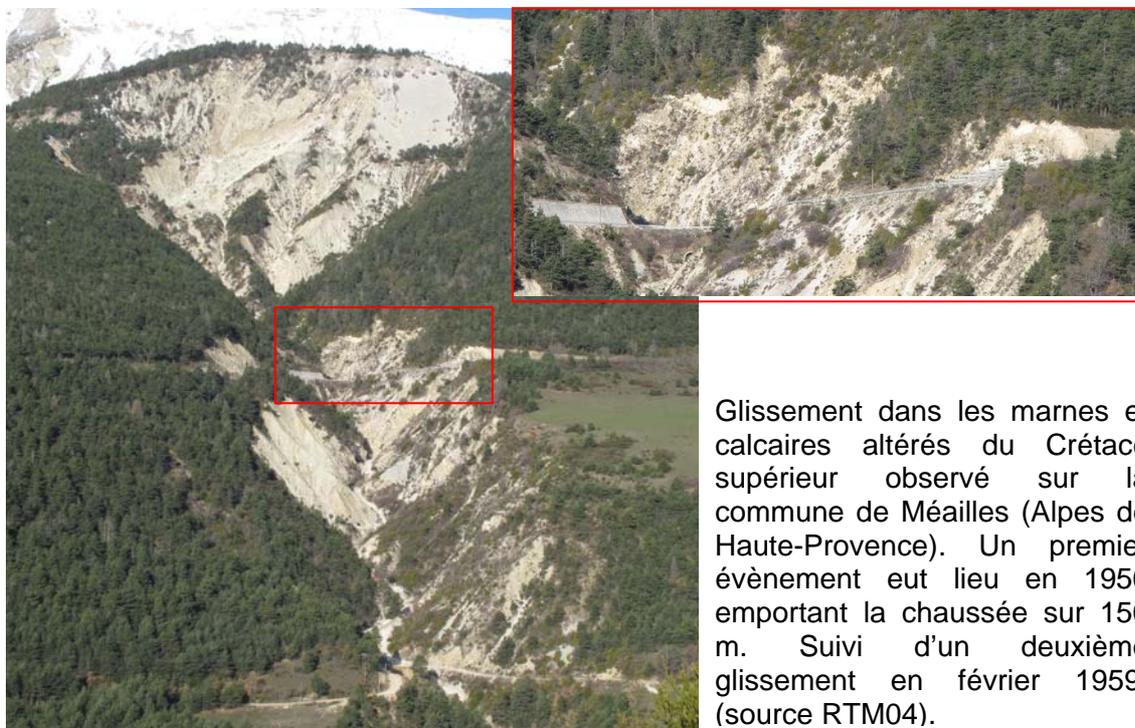
Principaux dommages observés : affaissement ou encombrement de la voirie par les matériaux glissés, endommagement ou destruction d'ouvrage de protection (enrochement, gabions, parapet, fascines...), dégâts sur piste forestière, embâcles dans torrent.

Ce type de glissement s'observe fréquemment sur la Provence cristalline. Dans le Var, ce sont plutôt des glissements de talus de petite ampleur que l'on observe. Les poudingues du delta du Var qui sont souvent recouverts de limons sont également souvent soumis à ce type de phénomène lorsqu'ils affleurent sur de fortes pentes. La formation des grès d'Annot qui est constituée de grès en bancs réguliers (sorte de flysch) peut devenir franchement sableuse sous l'effet de l'altération. Cette configuration favorise l'apparition de glissements superficiels qui peuvent couvrir une grande surface.

I. 1. Glissement superficiel

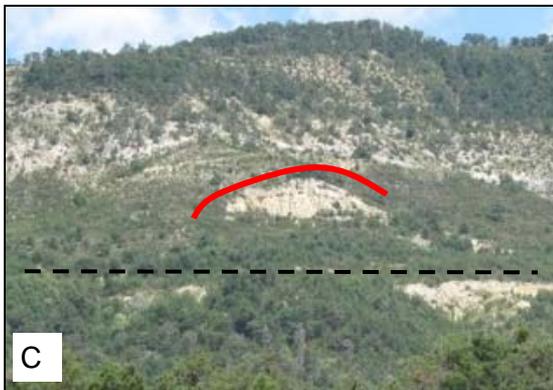


Glissement de 1994
Glissement superficiel sur la commune de Braux (Alpes de Haute-Provence) dans les matériaux sableux issus de l'altération des grès d'Annot sous-jacents. Un premier glissement affectant près de 100 ha de surface est recensé dans les archives en 1873. Lors de ce premier évènement, une trentaine d'habitations furent emportées. Deux autres glissements plus récents (1978 et 1994) se sont produits par la suite sur des surfaces moins étendues (dizaine d'hectares). La photo de droite est prise sur le glissement, on observe un amas de blocs erratiques pris dans une matrice sableuse, le tout d'aspect chaotique. (source RTM04).



Glissement dans les marnes et calcaires altérés du Crétacé supérieur observé sur la commune de Méailles (Alpes de Haute-Provence). Un premier évènement eut lieu en 1956 emportant la chaussée sur 150 m. Suivi d'un deuxième glissement en février 1959. (source RTM04).

I. 1. Glissement superficiel

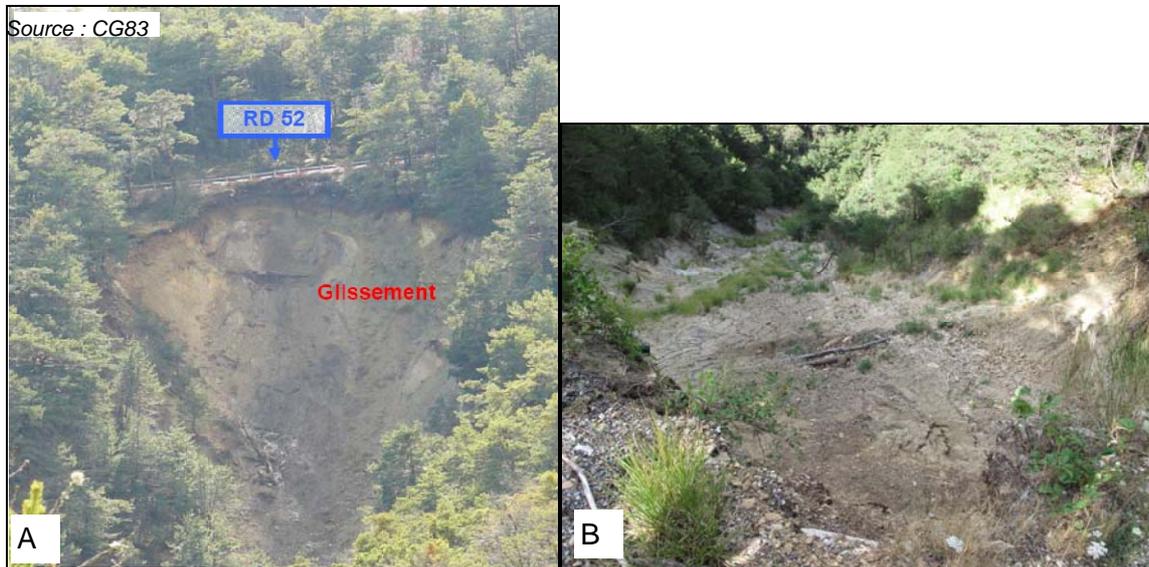


Glissement dans la frange altérée des grés glauconieux Crétacé supérieur. L'évènement s'est produit dans les années 1970 sur la commune de Châteauvieux (Var). Plusieurs milliers de mètre cubes sont entrés en mouvement. Le tracé de la RN85 a du être dévié. Photo A : route actuelle et zone de départ du glissement en amont. Photo B : ancienne route complètement déformée. Photo C : vue d'ensemble (en tirés noirs tracé de la route actuelle). Source : CG04,



Glissement dans les marnes et sables du Pliocène le long de la RD101 sur la commune de Le Broc. La surface de glissement a été recouverte de géomembrane dans le but de limiter les écoulements superficiels. Source : CG06

I. 1. Glissement superficiel



Glissement dans les sables argileux de Brenon (Var). Le glissement s'est déclenché en mars 2009 entraînant un accotement de la chaussée. Photo A : vue d'ensemble du glissement. Photo B : vue du glissement depuis la chaussée. (Source : CG83)



Glissement dans les éboulis recouvrant les marnes noires du Jurassique. Le glissement s'est produit en décembre 2008 entraînant des dégâts sur la RD6202 (commune de Malaussene, Alpes-Maritimes). (Source : CG06)

I. 1. Glissement superficiel



Glissement superficiel à Puget-Rostang (Alpes-Maritimes) dans la formation superficielle composée d'éboulis sur calcaire marneux. La couronne du glissement affecte l'aval de la route. Le phénomène a été aggravé par la crue du torrent situé au pied. (source CG06)



Glissement superficiel dans les dépôts glaciaires meubles recouvrant la formation des terres noires du Jurassique à Chateauroux-les-Alpes. Le phénomène est aggravé par le torrent du Rabioux qui en creusant le pied de la pente déséquilibre les terrains de couverture. (source : observation terrain le 21/07/08)

I. 1. Glissement superficiel



Glissement superficiel dans les alluvions anciennes talutées à Rigaud (vallée du Haut-Var, Alpes-Maritimes). Des fascines et un enrochement en pied de glissement ont été posés afin de stopper le mouvement. (source : observation terrain le 28/02/08)



Glissement superficiel dans les dépôts glaciaires à Chateauroux-les-Alpes (vallée de la Moyenne-Durance). La route située en amont est directement concernée par le glissement (source : ONF, service RTM 05)

I. 1. Glissement superficiel



Glissement superficiel le long d'un talus routier à Beauvezer (Alpes de Haute-Provence). Les marnes noires du Crétacé sont recouvertes de dépôts glaciaires qui glissent le long de la surface de contact entre les deux formations. Les arbres inclinés témoignent du mouvement gravitaire. Un enrochement a été posé afin de stopper le mouvement et l'encombrement de la voirie (source : CG04).



Glissement superficiel en aval de la route dans les alluvions anciennes recouvrant les argiles et gypse du Trias supérieur à Roquebillière (Alpes-Maritimes). Une partie de la route s'est effondrée lors du glissement (source : observation terrain le 28/02/08)

I. 1. Glissement superficiel



Glissement superficiels dans des éboulis recouvrant le substratum marneux du Jurassique. Observation terrain à Chanousse (Hautes-Alpes).

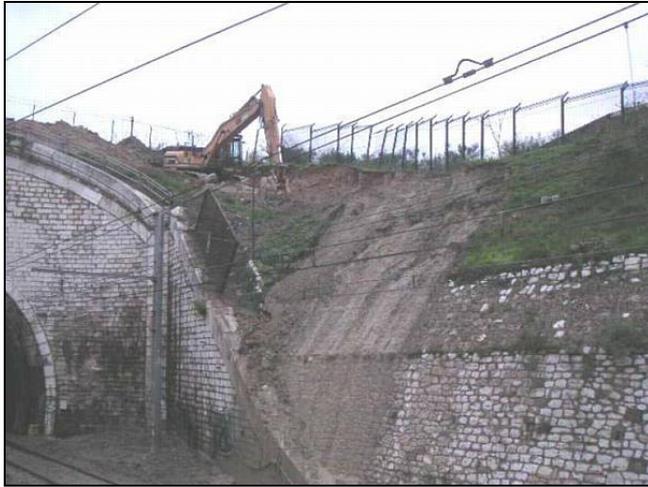


Glissement superficiel de grande ampleur à Vauvenargues dans les colluvions argileuses recouvrant le substratum calcaire jurassique. Le glissement a évolué en coulées boueuses. La saturation des terrains par les eaux de pluie, le terrassement avec talus redressé et les surcharges dues aux remblais seraient à l'origine du glissement. Janvier 1978, Vauvenargues (13) Source BDMVT



Glissement superficiel dans les alluvions des terrasses anciennes recouvrant les calcaires marneux du Crétacé inférieur. Observation terrain à Montjay (Hautes-Alpes).

I. 1. Glissement superficiel



Glissement superficiel dans les déblais recouvrant les grès et conglomérats du Crétacé le long de la ligne SNCF Marseille-Paris. Décembre 2003 (source BDMVT)



Glissement superficiel dans les remblais recouvrant les alluvions et terrasses du Quaternaire suite à de fortes pluies. Décembre 2003, le long de l'autoroute A7 à Marseille (source BD mvt)



Glissement de talus dans les niveaux argileux et gypseux du Trias. Observation terrain à La Fare (Vaucluse)

I. Glissement de terrain

I. 2. Glissement-coulée

On regroupe sous le terme de glissement-coulée, les glissements évoluant (ou ayant évolué) en coulée. Il s'agit de mouvements de masse dans lesquels des matériaux argileux, silteux ou très finement sableux avancent principalement par glissement sur des surfaces de rupture aux limites incertaines.

Leur morphologie comporte 3 secteurs : une zone de départ, un chenal par lequel les matériaux descendent de la source vers le bas du versant, une zone d'accumulation terminale en forme de lobe plus ou moins allongé. Si les matériaux débouchent dans un chenal torrentiel, ces écoulements peuvent se transformer en laves torrentielles (coulée de débris).

La vitesse du mouvement est relativement lente, des accélérations soudaines de la partie supérieure peuvent se produire lorsque la pression interstitielle (# sous-pression) dépasse un seuil limite.

Le glissement du Villard-des-Dourbes illustre bien ce type de phénomène. Le glissement affecte les colluvions des terres noires qui glissent en masse sur le substratum constitué des marnes noires. Actuellement stabilisé, le glissement a connu une phase d'accélération pendant l'hiver 2003.

Facteur de prédisposition :

- marnes noires associés à des colluvions, flyschs ou des moraines qui favorisent l'écoulement par augmentation de la fraction silteuse dans le mélange,
- contact anormal entre des formations marneuses imperméables et des formations perméables (colluvions, flysch, moraines) favorisant les écoulements souterrains,
- chenal torrentiel préexistant dans lequel peuvent évoluer les matériaux transportés.

Facteur déclenchant :

- précipitations importantes : infiltration des eaux de surface,
- modification de la topographie du versant.

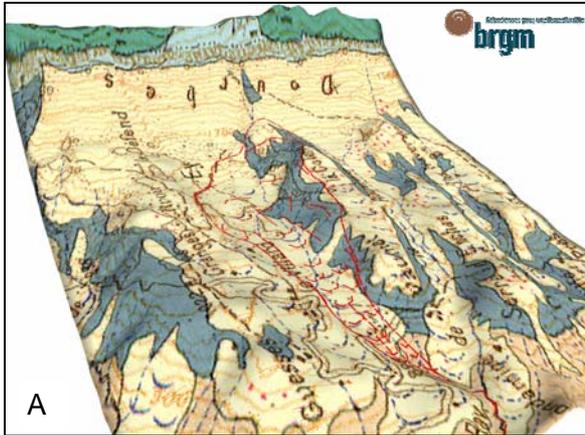
Facteur aggravant :

- présence de surcharges,
- absence de couvert végétal.

Type de dommages possibles : désordre voire destruction du réseau routier, destruction voir ensevelissement des habitations situées sur le tracé de la coulée. L'ensevelissement peut être plus ou moins rapide selon la vitesse de la coulée.

I. 2. Glissement-coulée

Glissement de Villard-des-Dourbes, Digne-les-Bains, Alpes de Haute-Provence



source : La Provence

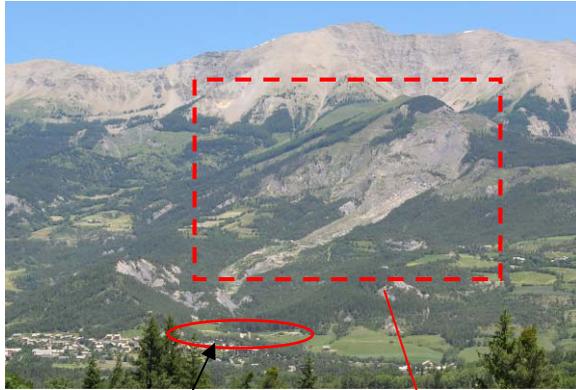




La carte géologique indique sur l'ensemble du versant des Douibes, des traces de glissements actifs ou anciens (image A). Le contexte géologique (colluvions recouvrant les terres noires) ainsi que le contexte hydrologique (nombreuses sources sur l'ensemble du versant) ont favorisé l'apparition du glissement. Le glissement s'est produit sur des pentes relativement faibles. Début 2002, un premier glissement en amont du grand glissement est apparu. En mai 2002, le glissement a commencé à se propager à l'ensemble du versant. Au mois de janvier 2003, ce sont près de 20 millions de mètres cubes de matériaux qui se déplacent, avec une vitesse moyenne de 5 m/j. On enregistrera jusqu'à 10 m/j en février 2003. Une maison fut évacuée, puis emportée et détruite par le glissement (photo B). L'évolution du glissement en laves torrentielles menaçant directement la ville de Digne fût envisagée puis écartée par les experts. Finalement le glissement a petit à petit ralenti pour se stabiliser en mai 2003.

Les photos A, B, C et D sont prises en janvier 2003, lorsque le glissement évoluait très rapidement. Photo A : extrait de la carte géologique et contour du glissement (vue 3D). Photo B : photo de la maison en cours de destruction par le glissement (janvier 2003). Photo C : glissement et petite retenue dans la partie centrale du glissement. Les terrains déstabilisés sont de très faible pente. Photo D : vue du front du glissement : environ 30 à 40 m de hauteur. Photo E : vue de la partie aval du glissement, début de coulée.

I. 2. Glissement-coulée



Habitations menacées

Zone de départ



Front du glissement évoluant en coulée

Le mouvement de la Valette (au nord-ouest de Barcelonnette) est une des illustrations régionales les plus connues du phénomène de glissement-coulée. Le glissement s'est brusquement manifesté au printemps 1982 lorsqu'une rupture profonde s'est produite au contact des marnes noires et des flysch calcaires. La masse rocheuse déstabilisée, très perméable, a totalement désorganisé en les surchargeant les terrains sous-jacents, en l'occurrence les moraines qui se sont mises à glisser avec les marnes noires. La masse glissée a évolué en coulée, et la surface affectée par les désordres s'est étendue petit à petit (26 ha en 1983, 32 ha en 1984, 57 ha en 1987) (Weber, 1994).

Un piège à matériaux a été édifié et d'importants travaux de drainage et d'enherbement ont été réalisés par les services RTM. Ce glissement toujours actif fait l'objet d'une surveillance constante. Un plan d'évacuation d'urgence du lotissement situé en contrebas et menacé d'ensevelissement par les matériaux déplacés a également été mis en place.

I. Glissement de terrain

I. 3. Glissement rotationnel

Les glissements rotationnels se produisent dans des matériaux meubles où les discontinuités géologiques sont absentes ou insuffisantes pour influencer notablement la forme et la position de la surface de rupture. L'appellation « glissement rotationnel » vient du fait que la surface de rupture est courbe.

La morphologie d'un glissement rotationnel met en évidence deux secteurs : une zone de rupture en amont, symbolisée par l'escarpement de tête et une zone aval caractérisée par un bourrelet de pied. On peut également observer parfois une série de gradins correspondant aux loupes de glissements secondaires.

Facteur permanent :

- Formations affleurantes meubles : roches sédimentaires marneuses ou argilo-sableuses (moraines, terres noires, colluvions, éboulis meubles)

Facteurs déclenchant :

- Précipitations importantes
- Modification de la morphologie de versant

Facteur aggravant :

- Passage d'un cours d'eau en pied de glissement qui érode le pied du glissement (butée) provoquant son instabilité

Types de dommages possibles : obstruction de rivière circulant en pied de glissement provoquant la formation d'un barrage naturel (embâcle), ensevelissement d'habitation, destruction du réseau routier.



Glissement de terrain observé en avril 2010 sur la commune de Champtercier (Alpes de Haute-Provence). On distingue clairement la série de gradins correspondant aux loupes de glissement secondaires. Le glissement s'est produit dans la formation marneuse des conglomérats de Valensole, certainement favorisé par la présence de sources traversant les terrains.

I. 3. Glissement rotationnel



Glissement de versant dans les alluvions anciennes bordant le cours de la Blaisance à Montjay. Le glissement qui s'est produit en 1994 suite à un épisode pluvieux intense, est encore bien visible, notamment les différents « gradins » qui se sont formés (escarpement en trait continu, gradins en pointillés). (source RTM)

Etable située en aval du glissement



Le bourrelet de pied du glissement est situé à environ 5 m de l'étable



Escarpement de tête

Loupes secondaires

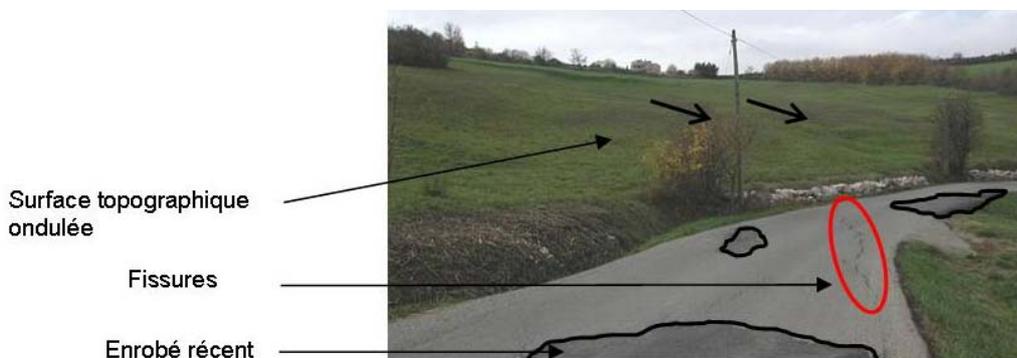


Glissement rotationnel en amont d'une ferme à Embrun (Moyenne-Durance). La surface de rupture a la forme d'un demi-cercle, d'un diamètre de 80 m pour un rayon de 40 m environ (source : service RTM)

I. Glissement de terrain

I.4 Fluage

Les fluages sont des mouvements lents affectant des 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 en mouvement, soit la rupture : formation d'une surface de rupture et augmentation de la vitesse de glissement. Ces phénomènes ont été fréquemment observés sur la Provence calcaire et rhodanienne dans des terrains argileux meubles. Ils se repèrent par la présence d'ondulations du sol (« surface de moutonnement ») et par l'inclinaison des arbres. Lorsqu'elles sont affectées par un fluage, les routes peuvent présenter des fissures longitudinales dont l'ouverture atteint parfois plusieurs centimètres.



Glissement lent sur faible pente (inférieure à 10°) affectant la formation des calcaires et marnes de l'Oligocène. Tout le versant est en mouvement. En aval, des fissures longitudinales sont visibles sur la chaussée (vitesse d'ouverture : quelques cm/mois), les enrobés sont refaits régulièrement. En amont, la surface topographique présente des ondulations. Observation le long de la RD 114 à Vachère (Alpes de Haute-Provence, source : DDT)

Fluage dans les argiles du Miocène à Istres. Mouvement d'ensemble observé depuis 1973. Tout le versant est affecté par le phénomène. En amont : fissuration sur les murs des maisons, fissurations de la chaussée ; en aval : arbres inclinés emportés par la masse de terrain en mouvement. Source BDMVT.



I. Glissement de terrain

I.5 Glissement de solifluxion

Ce type de glissement se produit dans les dépôts morainiques des anciennes vallées glaciaires (col de Vars, col d'Allos). Ces vallées sont soumises à de longues périodes de gel alternant avec des périodes de dégel. A la sortie de l'hiver, les terrains gorgés d'eau s'écoulent comme une masse boueuse. La solifluxion se manifeste par des niches d'arrachement ou décollement observables sur tout le versant. Le versant présente une surface moutonnée (ondulation de la surface). Ce type de glissement se produit sur faible pente (quelques degrés).

La vitesse du mouvement est relativement lente, quelques cm/an. En pied de versant, lorsque la pente se trouve modifiée (par le passage d'un torrent ou par des travaux routiers), des petits glissements superficiels, plus rapides, peuvent se produire.

La morphologie des versants affectés par ce type de phénomène est caractéristique des modelés périglaciaires.

Facteur permanent : formations glaciaires et milieu périglaciaire.

Facteur déclenchant : climatique : modification des températures (passent du négatif au positif) et/ou fortes précipitations.

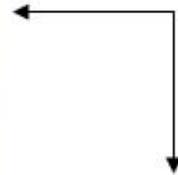
Facteur aggravant :

- modification de la pente (talus routier, affouillement par torrent) qui va déstabiliser localement les terrains. Des glissements de talus ou glissements superficiels peuvent alors se produire.
- modification des écoulements de surface et de sub-surface (infiltration plus importante) provoquée par des travaux d'aménagement type construction de pistes, terrassement et déboisement.

Domages : le réseau routier qui se trouve sur des terrains soumis au phénomène peut être affecté et s'affaisser sur sa partie aval. Nécessite un entretien régulier à la sortie de chaque hiver.



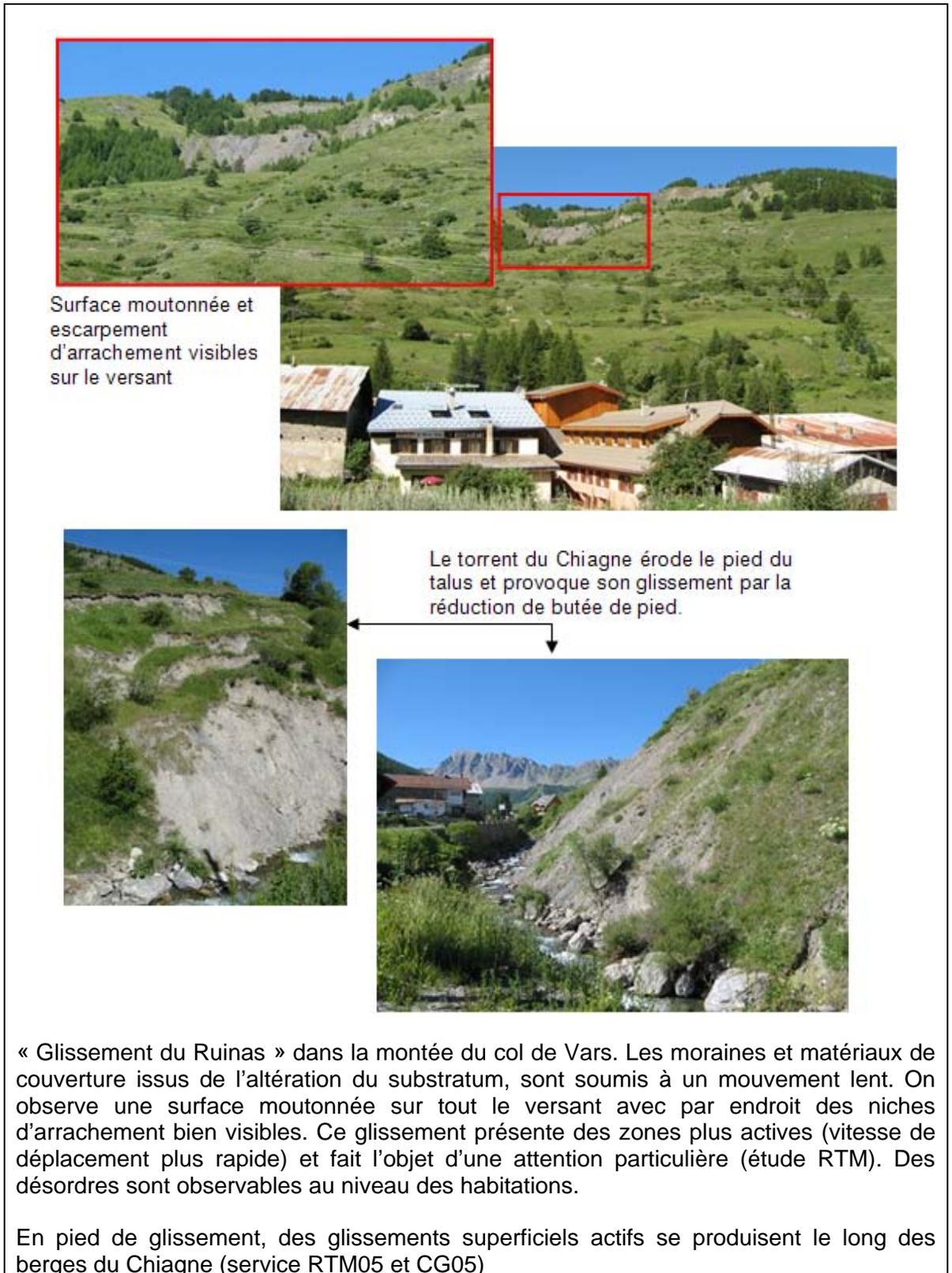
Niches d'arrachement sur tout le versant



Recharge de la route à la sortie de l'hiver



Glissement type solifluxion dans les moraines du col d'Allos (vallée du Haut-Verdon, Alpes de Haute-Provence). A chaque sortie d'hiver, le réseau routier nécessite un entretien (recharge) récurrent (source : CG04)



. Glissement de terrain

I.6 Glissement de versant

Ce sont des phénomènes complexes de grande ampleur qui affectent des pans de versant entier et dont la masse glissée représente des millions ou des centaines de millions de mètres cubes de roches diverses (plusieurs millions de mètres cubes dans le cas du glissement de La Clapière). La surface de rupture est concave et profonde (quelques dizaines de mètres de profondeur) et peut traverser plusieurs types de formations. Le substratum peut être très largement impliqué dans de tels phénomènes. Une des caractéristiques de ces mouvements est de subir périodiquement des réactivations localisées. Il apparaît alors des glissements secondaires, responsables d'une morphologie extrêmement complexe et parfois évolutive. Tout le versant est déformé, on y observe des surfaces d'affaissement et de bombement.

Les manifestations d'instabilités sont très dépendantes des circulations d'eau.

Facteurs permanents :

- formations meubles hétérogènes en surface : colluvions, éboulis ou formations rocheuses altérées (traversée par des accidents tectoniques qui favorisent les écoulements préférentiels d'eau et l'altération progressive de la roche qui devient plus meuble),
- circulations d'eau souterraine dans le versant.

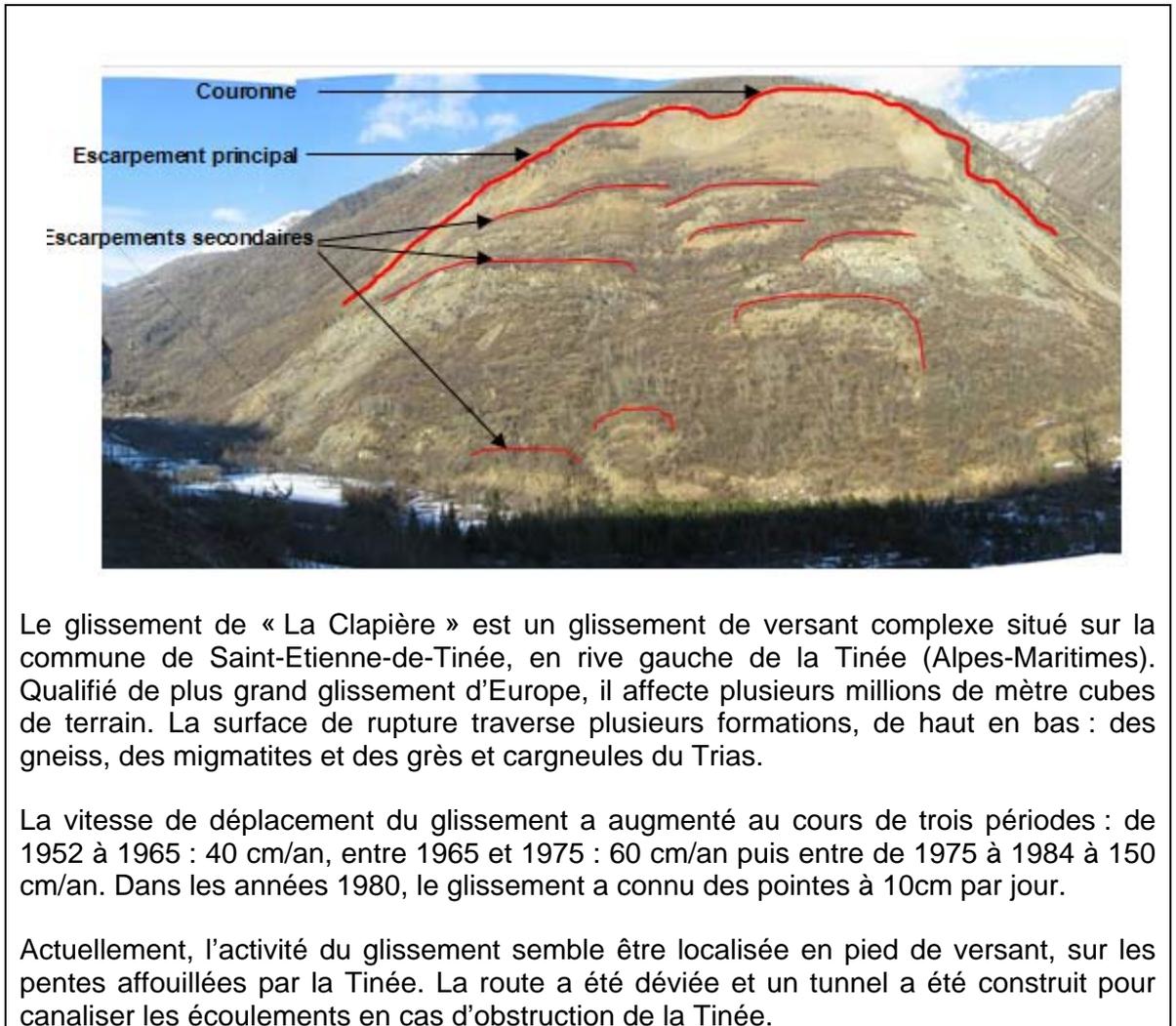
Facteurs déclenchant :

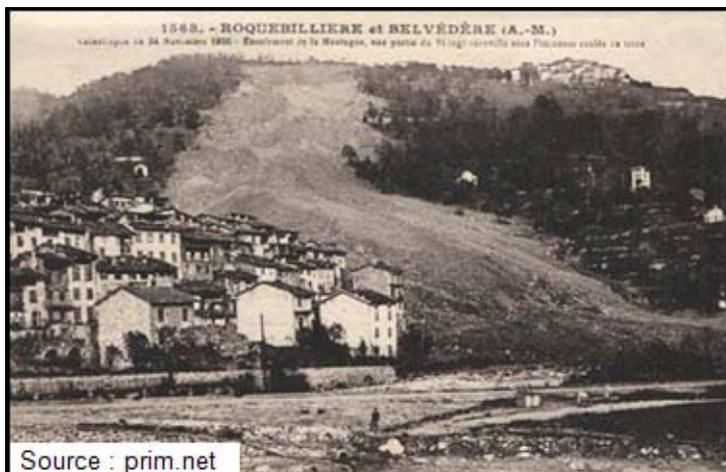
- augmentation des pressions interstitielles (précipitations abondantes),
- secousses sismiques.

Facteurs aggravant :

- modification de la pente (talus routier, affouillement par torrent) qui va déstabiliser localement les terrains
- modification des écoulements de surface et de sub-surface (infiltration plus importante) provoquée par des travaux d'aménagement type construction de pistes, terrassement et déboisement
- absence de couvert végétal : incendie favorisant le ruissellement et l'infiltration locale

Types de dommages possibles : recouvrement de rivière circulant en pied de glissement provoquant la formation d'un barrage naturel, ensevelissement d'habitations, destruction du réseau routier.





Source : prim.net

← Glissement de 1926 : 2 à 3 millions de m³ déplacés. Des crevasses se seraient formées la veille de l'évènement sur le massif. Le mouvement s'est produit à la suite d'un intense épisode pluvieux de plusieurs jours.

Fractures ouvertes, la photo de dessus montre un tronc de cerisier qui a été éclaté par l'ouverture de la fissure



Glissement de versant de Roquebillière. Le mouvement affecte tout le versant sur une surface estimée à 15 ha. Des glissements secondaires se sont produits par le passé, notamment celui de 1926 qui emporta une partie du village de Belvédère faisant plusieurs victimes. Le village fut en partie reconstruit en contrebas dans la vallée. Depuis des désordres sont apparus sur le versant, faisant l'objet d'études approfondies.

Ces études montrent que le mouvement est conditionné par un contexte géomorphologique défavorable : couverture morainique hétérogène comportant des niveaux sablo-argileux à blocs et cailloutis et des niveaux d'argile plus ou moins plastique, sur un substratum de nature variée, souvent gypseux, formant un plan incliné. Ce contexte est aggravé par la présence d'eau dans le massif, en particulier dans la couverture. Actuellement des glissements ponctuels de petite envergure sont toujours enregistrés, témoignant du mouvement d'ensemble du versant.

I. Glissement de terrain

I.7 Glissement mixte : glissement/coulée

Ce type de glissement est l'association d'un glissement superficiel et de la coulée de boue à laquelle il donne lieu. Le glissement prend naissance dans des formations de couverture meubles et perméables couvrant un substratum plus induré (exemple : colluvions sableuses sur grès d'Annot) affleurant sur des fortes pentes. La formation est à la limite de l'équilibre, et la moindre modification du contexte hydrogéologique entraîne la mise en mouvement de la formation superficielle. Ces glissements ont lieu après de fortes précipitations. L'épaisseur des matériaux mobilisés dépend du contexte mais dépasse rarement les 2 mètres d'épaisseur. La masse de matériau est fortement chargée en eau, et sa vitesse de déplacement est très rapide.

La surface de rupture est plane et l'écoulement des terrains se fait parallèlement à la pente.

La surface concernée peut varier de quelques mètres carrés (glissement de talus routier) à 1 hectare et plus (glissement d'un pan de versant).

Facteur permanent : manteau de formations meubles sur forte pente.

Facteur déclenchant :

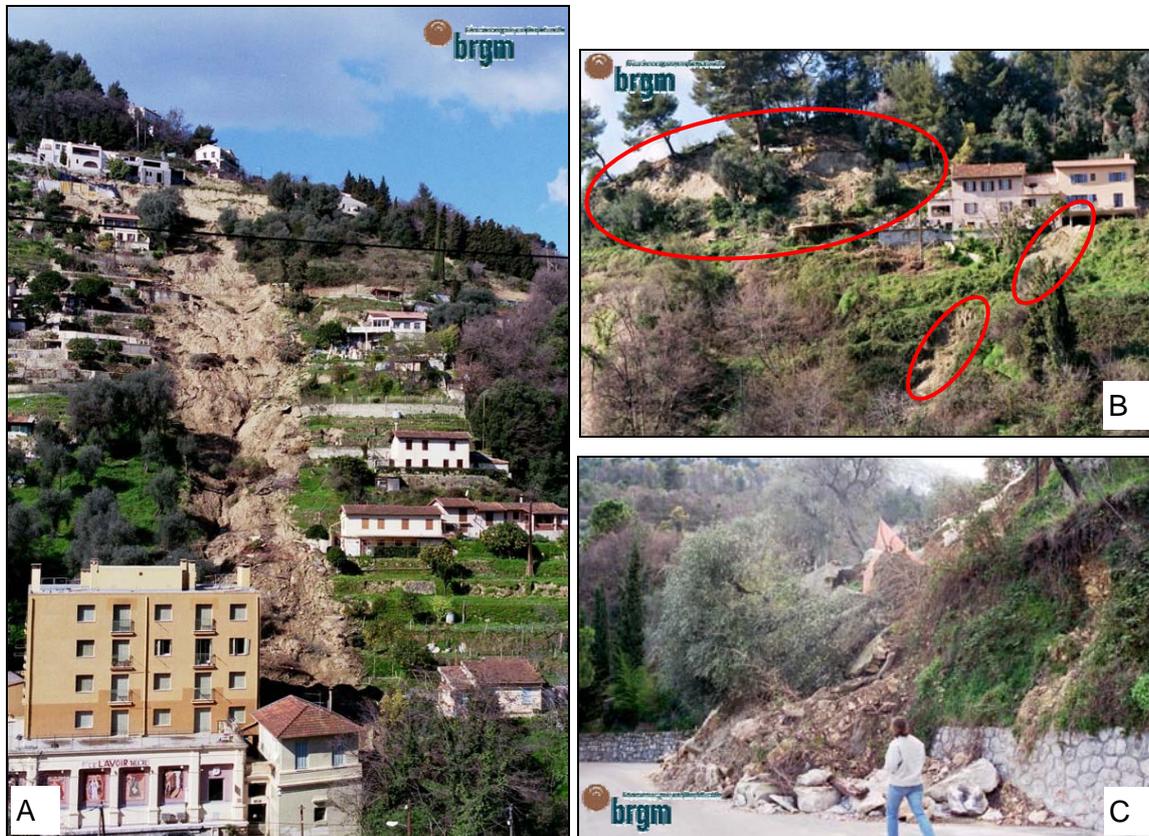
- concentration d'eau de ruissellement,
- modification du profil de pente d'origine naturelle,
- modification du profil de pente par travaux : déblai routier.

Facteur aggravant : épisode pluvieux intense.

Principaux dommages observés : affaissement ou encombrement de la voirie par les matériaux glissés, endommagement ou destruction d'ouvrage de protection (enrochement, gabions, parapet, fascines...).

Ce type de glissement s'observe principalement sur le littoral de la zone. Sur Menton, où la formation des Grès d'Annot et flysch Oligocène (grès sableux à interlits marneux) se présentant fréquemment sous leur forme altérée (dépôts sableux) affleure sur de fortes pentes, des glissements/coulée se sont produits à plusieurs reprises en de multiples endroits (près d'une centaine d'évènements recensés en 2000). Le long de la côte varoise, sur les falaises du Cap Brun à Toulon, on recense également ce type de phénomène, qui affecte cette fois-ci la couverture d'altération des gneiss métamorphiques.

I. 4. Glissement mixte : glissement/coulée



Glissement/coulée dans les colluvions sablo-marneuses de la formation des Grès d'Annot et flyschs oligocènes observés sur la commune de Menton, et au sud de Gorbio et de Sainte-Agnès (Alpes-Maritimes). Ils ont pour origine, les pluies torrentielles qui ont déferlé sur la région 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. Plus d'une centaine d'évènements provoquant de nombreux dégâts sur les constructions et infrastructures routières furent recensés. Ce type d'évènement s'était déjà produit en 1952.

Photos prises quelques jours après les évènements. Photo A : trace laissée par le passage du glissement. Photo B : multiples traces d'arrachement, zones de départ des glissements. Photo C : front d'un des glissements : zone d'accumulation des matériaux mobilisés. Le glissement s'est arrêté sur la route.

I. 4. Glissement mixte : glissement/coulée



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 soutenues.

Photo A : vue d'ensemble du pied d'une partie de la falaise de Cap Brun. Les surfaces d'arrachement sont entourées de rouge. Photos B et C : photos des événements de 1972 consécutifs à un épisode pluvieux. Photo B : niche d'arrachement. Photo C : zone d'accumulation des matériaux, arrivée du glissement.

II. Instabilités rocheuses

II. 1. Chutes de pierres et de blocs

Les chutes de masses rocheuses sont des mouvements gravitaires libres. Ce sont des mouvements rapides, discontinus et brutaux résultant de l'action de la pesanteur et affectant des matériaux rigides fracturés tels que des calcaires, des grès, des roches cristallines, etc.

Les chutes de pierres et blocs mobilisent des éléments inférieurs au mètre cube qui peuvent tomber de manière isolée. Dans certains cas, les volumes en jeu peuvent cumulativement (somme d'un nombre de petits phénomènes plus ou moins rapprochés dans le temps) atteindre plusieurs dizaines de mètres cubes.

Elles se produisent par décrochement, basculement ou glissement banc sur banc des blocs, depuis des falaises rocheuses, des escarpements rocheux (alternance marno-calcaire par exemple), des formations meubles à blocs ou de blocs provisoirement immobilisés sur une pente (type éboulis).

Les chutes de pierres et de blocs sont caractérisées par une zone de départ délimitée par un réseau de discontinuités (fractures, diaclases, schistosité) et par la morphologie (falaise, talus rocheux). La zone de propagation varie selon la hauteur de l'affleurement, ainsi que la topographie et la couverture végétale de la zone située au pied de celui-ci : inférieure à la dizaine de mètres pour les talus rocheux, plusieurs dizaines voire centaines de mètres pour les falaises.

Facteurs de prédisposition

- fracturation du talus ou massif rocheux : ouverture des fractures, nature de leur remplissage, densité et orientation du réseau de discontinuités ;
- la morphologie de versant (talus rocheux, surplomb...).

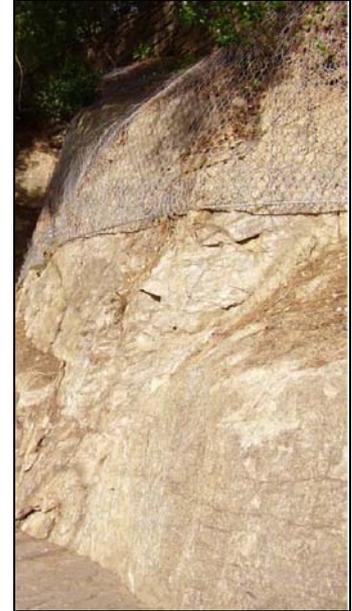
Facteurs déclenchant le phénomène :

- conditions climatiques : précipitations (lessivage des fines, création de pressions interstitielles), phénomène de gel/dégel ;
- modification de la morphologie de versant : terrassements routiers (déblai, remblai) ;
- vibrations d'origine sismiques ou anthropiques.

Facteurs aggravant le phénomène

- la végétation s'insinuant dans les fractures ;
- l'érosion différentielle : érosion des niveaux tendres et mise en surplomb des couches indurées ;
- les incendies (roche mise à nue).

II. 1. Chutes de pierres et de blocs



Chutes de blocs récurrentes dans les gneiss bordant le littoral varois entre Bormes-les-Mimosas et Le Rayol-Canadel. Le gneiss est très altéré par endroit et apparaît fortement diaclasé. Lorsque les diaclases sont parallèles à la pente, elles constituent des plans de glissement pour les masses rocheuses. Photo A : chute de blocs dans propriété privée, photo B : affleurement des gneiss (gneiss de Bormes) altérés (source Conseil Général 83).



Eboulement de plusieurs blocs dans les cargneules et gypse du Trias observé dans le bassin de la Vésubie (Alpes-Maritimes). La dissolution des niveaux gypseux entraînant la déstabilisation des matériaux sus-jacents semble être à l'origine de l'éboulement (source : observation terrain le 25/02/08).

II. 1. Chutes de pierres et de blocs



Chutes de blocs récurrentes le long de la D20 en montant vers le Col du Corobin (Alpes de Haute-Provence). Les marnes calcaires affleurent en bancs réguliers dont le pendage parallèle à la pente favorise la chute des blocs par glissement banc sur banc. (source : CG04)



Chute de blocs de plusieurs dm^3 à Peillon (Alpes-Maritimes) en décembre 2008. L'évènement a eu lieu dans les calcaires lités du Turonien (Crétacé) suite à un épisode pluvieux. Les grillages de protection n'ont pas suffi à retenir les éléments rocheux qui se sont propagés sur la chaussée. (source CG06).

II. 1. Chutes de pierres et de blocs



Chute de plusieurs dizaines de dm^3 de blocs rocheux sur la commune de Valbonne en février 2009 (source CG06). Les dolomies du Jurassique inférieur, fortement altérées, sont régulièrement soumises à ce type de phénomène.

Chute de blocs de plusieurs dm^3 dans les calcaires du Tithonique (Jurassique supérieur). C'est le phénomène de sous-cavage des niveaux marneux qui met les bancs calcaires en position de surplomb. De nombreuses écaïlles sont ainsi définies par les limites stratigraphiques et les fractures découpant l'affleurement rocheux. Lieu : calanque des Pierres Tombées, Bouches-du-Rhône. Source BDMVT.



II. 1. Chutes de pierres et de blocs



Les maisons sont directement exposées aux chutes de blocs (calcaires argileux du Barrémien - Jurassique inférieur). Des contreforts en béton, des boulons d'ancrage et des grillages de protection partiellement plaqués ont été installés pour sécuriser la maison. Lieu : Vaison-la-Romaine, Vaucluse. Source : BDMVT



Vue après les travaux de protection. Un écran dynamique arrête les blocs dans le couloir d'éboulis et un grillage plaqué a été posé à même la paroi rocheuse.

Eboulement de versant à Lantosque (janvier 2004) le long de la D273 (Bassin de la Vésubie, Alpes-Maritimes). L'éboulement s'est produit dans les calcaires du Campanien (Crétacé supérieur). Ce sont environ 70 m³ de matériaux qui ont chuté, endommageant la Départementale sur environ 80m de long et détruisant le parapet. Les hameaux voisins sont restés isolés le temps des travaux (source RTM)

II. 2. Éboulements

Les éboulements sont des phénomènes de grande ampleur qui impliquent des volumes rocheux importants (volume total éboulé supérieur à 100 m³).

Ces phénomènes se produisent par basculement, par rupture de pied, par glissement plan ou par glissement dièdre (rupture selon 2 fractures dont l'intersection est sortante) à partir de falaises formant des ressauts topographiques visibles dans le paysage.

Une fois les blocs mis en mouvement, ceux-ci se propagent dans une direction proche de la ligne de plus grande pente, sur une distance qui varie en fonction de plusieurs facteurs (nature et occupation du sol, forme et solidité des blocs, pente...). Lorsque des blocs sont arrêtés sur des pentes fortes, leur remobilisation est parfois possible.

La zone de propagation des blocs peut être très étendue et atteindre plusieurs centaines de mètres.

Facteurs de prédisposition :

- le facteur principal de prédisposition est l'orientation de la fracturation et des principales surfaces structurales. Ces surfaces découpent le massif en blocs élémentaires, et, selon leur direction et celle de la topographie, conditionnent les départs (pendage aval ou bien fortement vertical). Ce sont elles qui régissent également la taille des blocs.

Facteurs déclenchant le phénomène :

- conditions climatiques : gel-dégel, fortes précipitations ;
- secousses sismiques ou anthropiques.

Facteurs aggravant le phénomène de propagation des blocs éboulés :

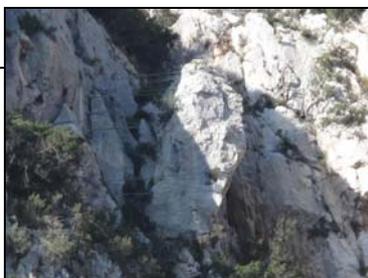
- la forme des blocs : si les blocs sont de forme relativement plane, ceux-ci auront tendance à s'arrêter rapidement selon une de leur face en raison des frottements forts (dans certains cas ils peuvent cependant se mettre sur la tranche et se propager loin). Si au contraire les blocs sont de forme arrondie, ils pourront alors se déplacer en roulant et prendre de la vitesse si la pente est forte ;
- la hauteur de la zone de départ par rapport au pied de la barre rocheuse ;
- la résistance de la roche : plus les blocs seront fragilisés plus ils auront tendance à se fragmenter et à se propager ;
- le couvert végétal : plus un couvert végétal sera dense plus il réduira significativement la distance de propagation en freinant les blocs.

Sur la Provence cristalline, ce type de phénomène se produit principalement dans les gorges étroites taillées par les cours d'eau : gorges du Verdon, Clues de Chabrières, gorges de Châteaudouble, gorges d'Ollioules, gorges de la Vésubie, gorges de la Mescla, gorges du Loup.

II. 2. Éboulements



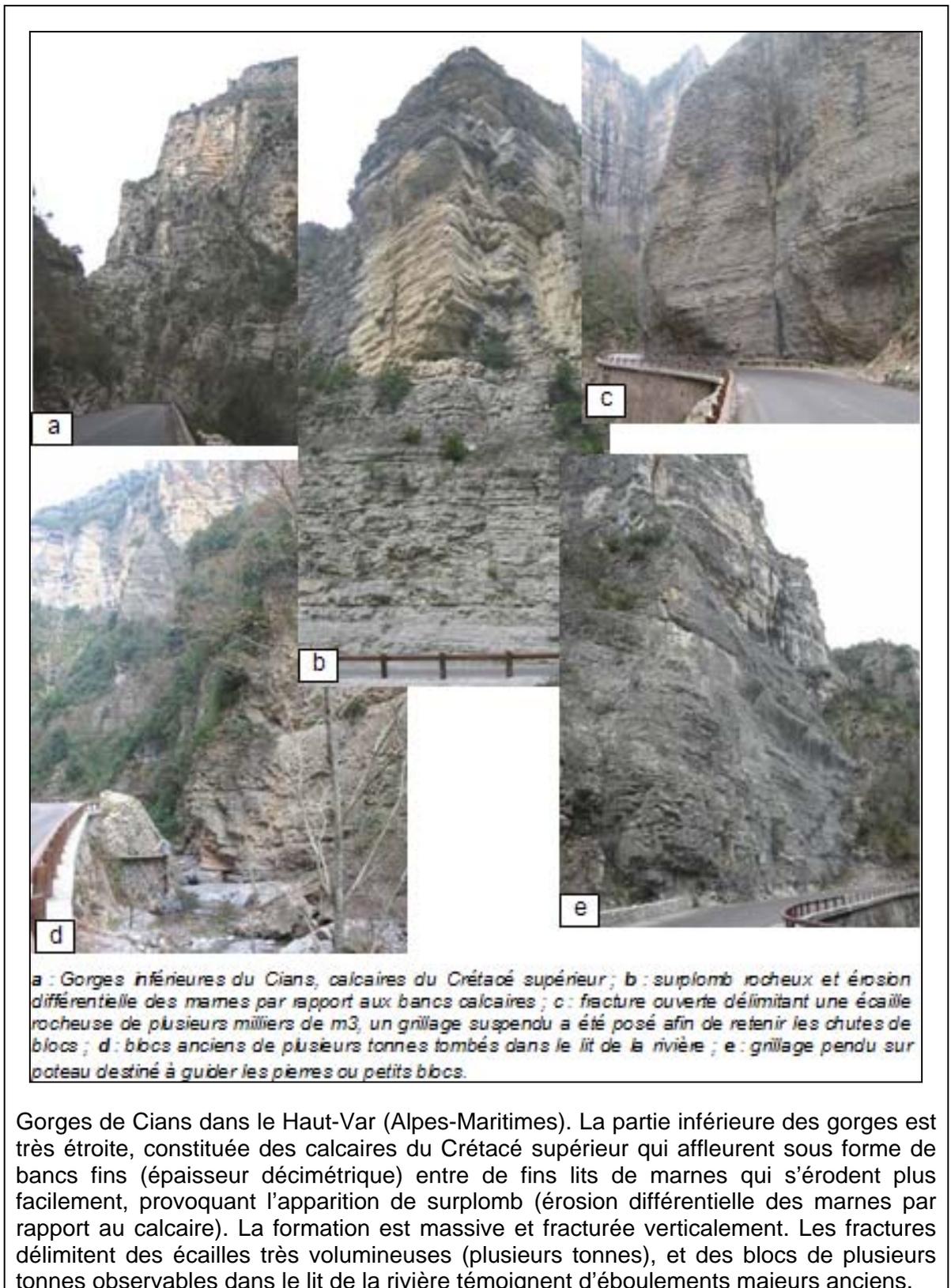
Les gorges du Verdon creusées dans les calcaires massifs du Crétacé et du Jurassique montrent d'impressionnantes falaises qui peuvent atteindre plus de 200 m de haut. Les chutes de blocs sont récurrentes le long de l'itinéraire routier bordant les falaises, et parfois des éboulements de plusieurs tonnes s'y produisent (source CG04).

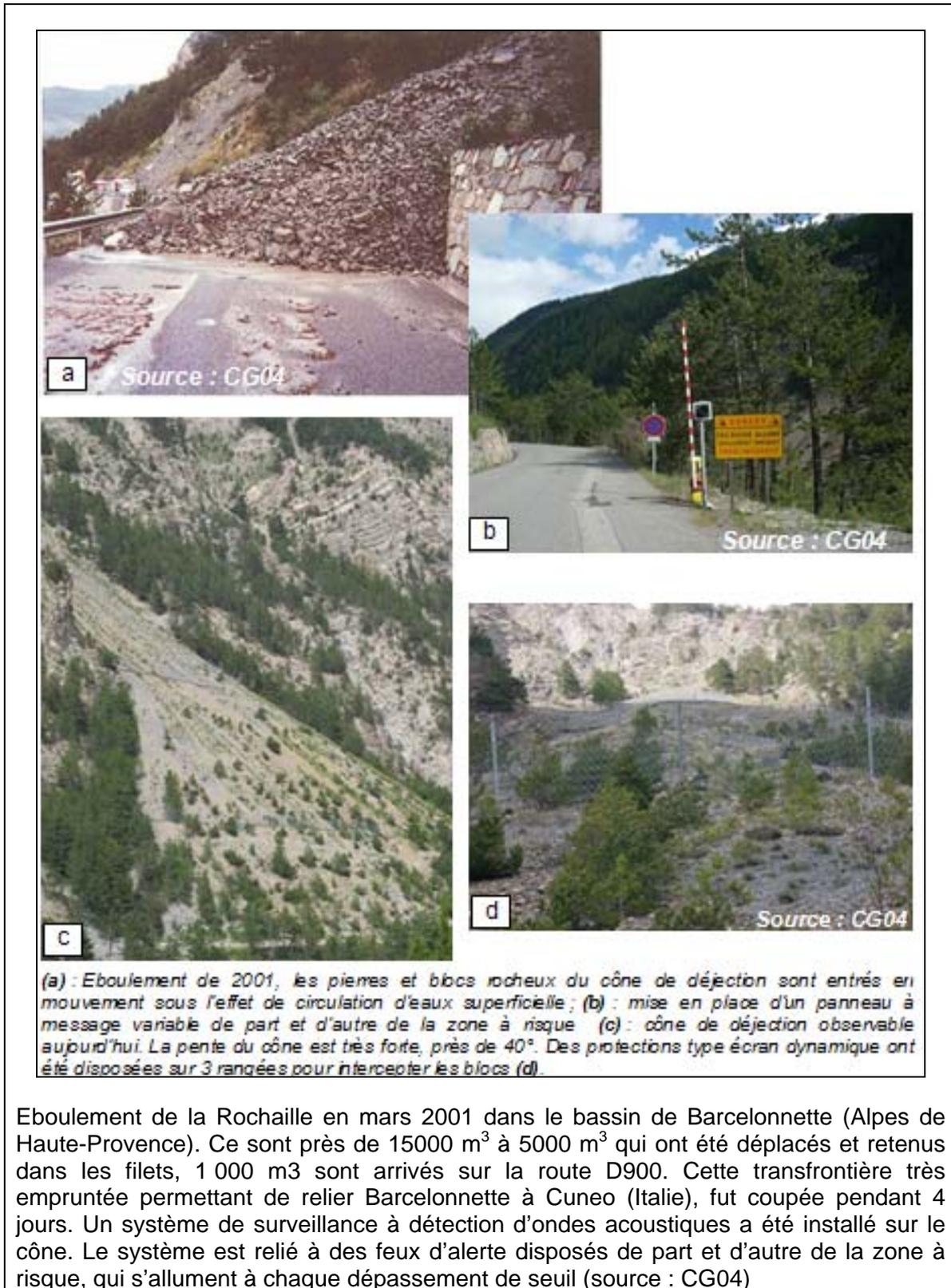


Écaille rocheuse



Les falaises calcaires formant les gorges d'Ollioules sont soumises aux instabilités rocheuses et menacent directement la route sous-jacente. Fin 2006 une importante écaille rocheuse s'est détachée de la falaise faisant un blessé grave. Des travaux de mise en sécurité ont tout de suite été réalisés, suivis d'une étude plus poussée menée par le Conseil Général afin d'identifier et de conforter les zones les plus menaçantes. (source CG83)





II. 2. Éboulements

Eboulement dans les calcaires de l'Eocène. La taille des blocs dépasse le m³. Les blocs ont atterri dans les maisons situées en contrebas de la falaise qui ont subi d'importants dégâts.

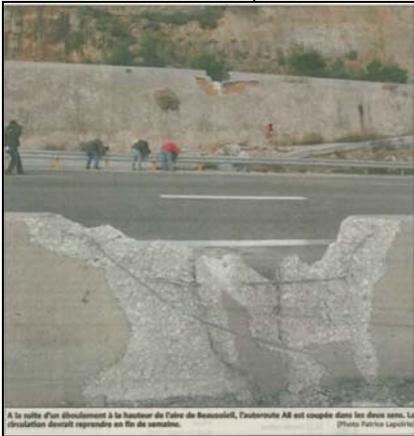


Lieu : Vitrolles (Bouches-du-Rhône), mai 2005. Source : BDMVT



Eboulement dans les marnes et calcarénite du Miocène. Les blocs de 50 m³ ont parcouru une soixantaine de mètres. Lieu : Ménerbes (Vaucluse), mai 1995. Source : BDMVT

II. 2. Éboulements



Evènement de 2008 -
source Nice Matin



Evènement de 2005 -
source CETE

Sur l'A8 au-dessus de Beausoleil affluent d'imposantes falaises calcaires de plus de 200 mètres de haut. Deux éboulements consécutifs ont eu lieu le long de cet itinéraire : en 2005, où une masse rocheuse de 21 tonnes se décrocha de la falaise et tomba sur la route faisant une victime. Puis en 2008, cette fois-ci un bloc de près de 40 t chuta sur l'autoroute puis la route départementale située en contrebas.



Sur la commune de Châteauvieux (Var), en février 2008, un pan entier de plusieurs milliers de mètres cubes s'est détaché de la falaise calcaire. Un bloc d'environ 25 m³ a traversé la route départementale située en contrebas laissant un trou dans la chaussée. (source CG83).

II. 2. Éboulements



Vue du roc de Castellane et de la cicatrice laissée par l'éboulement de 1987

Evènement de 1987 (source RTM04)



Le 11 novembre 1987, ce sont près de 1 000 m³ qui se sont détachés de la paroi rocheuse du Roc de Castellane. L'évènement semble avoir été provoqué par l'alternance de gel-dégel sur l'ensemble du massif, faisant jouer les fractures traversant le roc. (source RTM04).



Source : CG83



Source : CG83

Éboulement d'un bloc rocheux de 20 tonnes sur la RD559 à Sanary-sur-Mer (Var) dans la nuit du 8 au 9 janvier 2009. Le bloc s'est détaché du talus puis a éclaté en arrivant sur la chaussée. La formation affleurante est hétérogène et composée de conglomérats, sable et marnes. Les niveaux meubles s'altèrent plus rapidement que les niveaux indurés, et cette érosion différentielle favorise la mise en surplomb des bancs conglomératiques puis leur chute. (source CG83).

III « Coulées »

Les phénomènes de coulées et ravinement présentent des mécanismes similaires. Ces termes regroupent des mouvements de terrains de types variés, associés à la nature des matériaux transportés. Ces phénomènes sont régis par les lois à la fois de l'hydraulique et de la mécanique des solides et constituent par conséquent une particularité dans la famille des mouvements de terrain. Les facteurs communs à ces types de mouvements de terrain, considérés comme des phénomènes d'érosion, sont un fort remaniement des masses déplacées, une cinématique rapide, une propagation importante. En outre, ils affectent uniquement les terrains superficiels (environ 0 – 3 m). On distingue :

- Le ravinement : entraînement solide par ruissellement des eaux. L'intensité est fortement liée à la nature des terrains concernés, à l'occupation des sols (réseau routier, couvert végétal) et à la morphologie. Ce phénomène, en général de faible ampleur, peut jouer le rôle d'alimentation d'évènements plus importants tels que des coulées de boue et des coulées de blocs.
- La coulée de boue : mise en mouvement de matériaux meubles, remaniés en général, par saturation en eau et liquéfaction. Les zones de colluvions, de glissements actifs ou anciens et de dépôts anthropiques dans un contexte morphologique favorisant des concentrations d'eau importantes constituent les sites potentiels d'apparition des coulées de boue.
- La coulée de blocs (charriage hyper concentré) : mobilisation d'éléments rocheux soumis à des écoulements torrentiels. Les secteurs d'éboulis vifs sont des sites favorables au développement de coulées de blocs lorsqu'une énergie hydraulique importante peut être développée (zones de talweg en forte pente).

Facteurs de prédisposition

- la nature des formations superficielles : les formations « tendres » qui s'érodent facilement : colluvions, alluvions, couverture d'altération (sables issus de grès ou de gneiss) seront sensibles aux ravinements et coulées de boue ; les formations type éboulis, cône de déjection, zones rocheuses altérées et hyper-fracturées seront sensibles aux coulées de blocs ;
- la morphologie de versant : zones de fortes pentes, talweg (zone de concentration du ruissellement), discontinuités topographiques (zones remaniées).

Facteurs déclenchant le phénomène

- des précipitations importantes ;
- les actions mécaniques : glissement de terrain actif, chutes de blocs vers un talweg.

Facteurs aggravant le phénomène

- la nature du couvert végétal : zones dénudées, incendiées favorisant le ruissellement et l'érosion ;
- les aménagements modifiant les conditions d'écoulements naturels : imperméabilisation de surface et mauvais drainage des eaux pluviales.

III « Coulées »



Coulées boueuses en novembre 1994 sur la commune d'Annot (Alpes de Haute-Provence) suite à de très fortes précipitations. Les coulées prirent naissance dans les grès argileux (grès d'Annot), et près de 400 à 600 m³ de boue envahirent plusieurs quartiers situés en aval ainsi que la gare. Cet évènement sera suivi d'une nouvelle coulée en février 1996 suite à un long épisode pluvieux. La voie ferrée fut à nouveau touchée. (source RTM04).



Coulées de boue dans le quartier du Val Careï et autres quartiers en décembre 2008 à Menton (Alpes-Maritimes). Près de 10 familles ont du être évacuées, une maison a totalement été éventrée par la coulée. Des épisodes pluvieux à répétition et une couverture sablo-argileuse facilement mobilisable sont à l'origine des coulées.

III « Coulées »



Coulées de boue sur la commune de Villefranche-sur-Mer (Alpes-Maritimes) en novembre 2008 suite à de fortes précipitations. Ce sont au total 4 tonnes de boue, pierre et végétation qui se sont répandus sur la chaussée, entraînant l'obstruction des deux voies de circulation, et emportant sur leur passage une partie du mur de soutènement. La coulée a pris naissance dans le lit d'un talweg creusé dans les marnes grises et calcaires marneux du Crétacé supérieur.



Les pluies diluviennes qui se sont abattues les 15 et 16 juin 2010 sur l'est du département du Var ont occasionné des inondations et des instabilités de terrain notables en plusieurs endroits. Parmi les mouvements qui se sont produits, on a enregistré un certain nombre de coulées de boue. Au nord de Draguignan, sur la route de Chateaudouble, on observe le passage d'une coulée de boue induite par le glissement du talus en amont de la route. On voit clairement les traces laissées par la coulée sur la végétation qui est complètement couchée. (source : observation terrain le 2 juillet 2010).

Coulée de boue dans les colluvions suite à de fortes précipitations. La coulée a pris naissance dans les talwegs en amont et la boue s'est propagée sur la chaussée sur plus d'un kilomètre de long et 50 cm d'épaisseur.

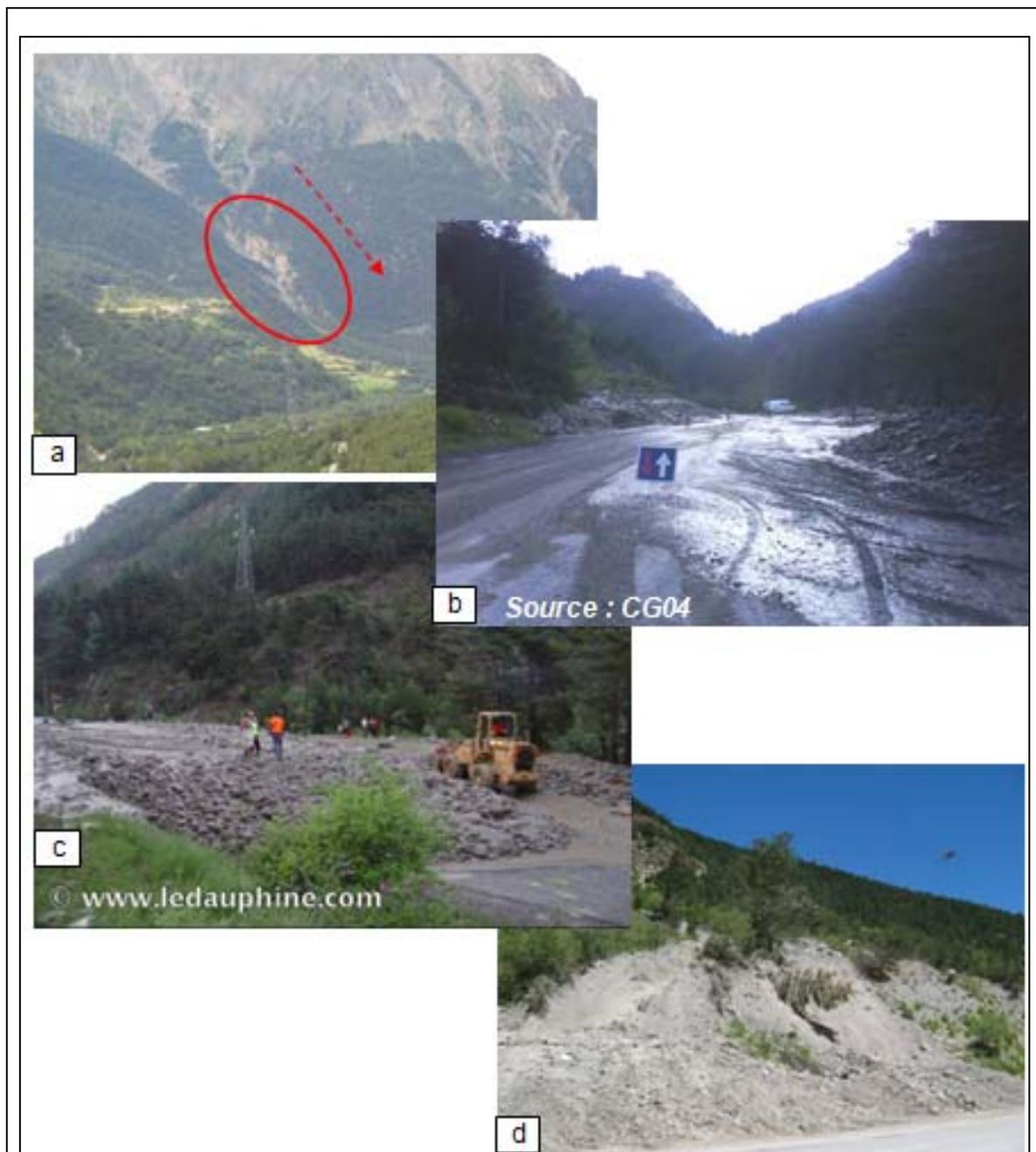
Photo d'un talweg pendant et après la coulée de boue



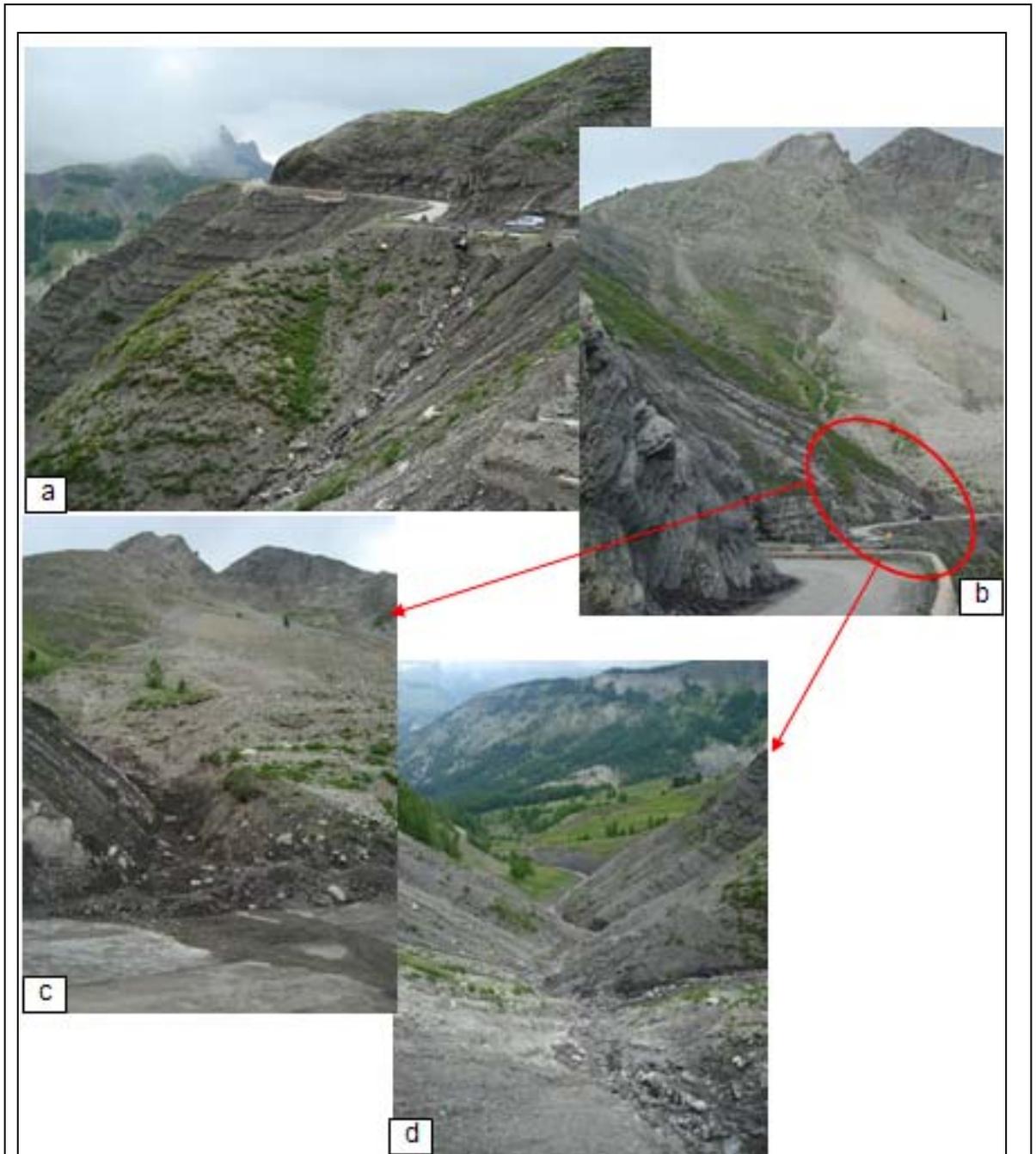
Photo de la chaussée envahie par la coulée de boue pendant et après le phénomène



Lieu : Bédouin (Vaucluse), décembre 2003. Source : BDMVT



Coulée de boue et de blocs de grande ampleur à Saint-Paul-sur-Ubaye le 30 juin 2008 suite à un épisode pluvieux très intense (vallée de Barcelonnette, Alpes de Haute-Provence). La route fût recouverte par plus d'un mètre de boue et de débris. **(a)** : vue du couloir emprunté par la coulée. Ce couloir est habituellement un chemin préférentiel pour les avalanches en hiver. **(b)** et **(c)** : photo de la coulée, quelques heures après, les secours ont déjà évacué une partie des matériaux. **(d)** : vue du talus routier amont un mois après la coulée. La végétation porte les traces du passage de la coulée, les arbres sont inclinés vers le bas, et la boue et les blocs transportés sont accumulés sur le côté.

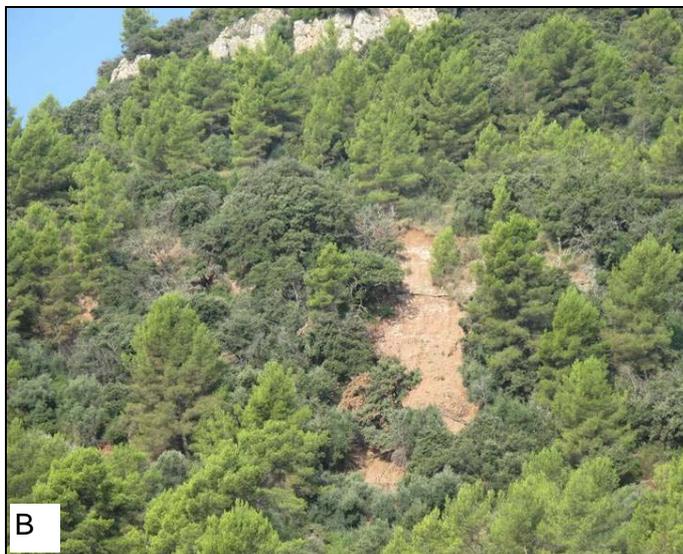


Chariage de blocs et coulée dans les marnes noires du Crétacé moyen au lieu-dit de Marvallon (Haut-Verdon, Alpes de Haute-Provence). La route glisse lentement dans le sens de la coulée, le phénomène est accéléré lors d'épisodes pluvieux intense (source CG04). (a) et (b) : route en vers l'amont et vers l'aval. Le talus de marnes noires est très pentu et des ravines sont creusées par la circulation des eaux superficielles. (c) et (d) : vue amont et aval de la coulée. Des blocs provenant des éboulis amont sont transportés par la coulée.

III « Coulées »



source : Mairie de Vidauban



Plusieurs coulées se sont manifestées sur la commune de Vidauban (Var) suite à l'épisode pluvieux intense de juin 2010. Les photos, prises lors d'une visite sur place en septembre 2010, illustrent deux de ces événements. Photo A : coulée de boue sur le chemin de Château neuf, la coulée a pris naissance dans la couverture argileuse d'altération des grès rouges du Permien. Photos B et C : arrachement dans les marnes, argiles et grès du Permien point de départ de la coulée, à droite (photo C) vue du talus routier jusqu'ou s'est propagée la coulée.

IV. Effondrements et affaissements

Les effondrements et les affaissements sont des mouvements gravitaires à composante essentiellement verticale. Ils résultent d'une rupture du toit d'une cavité souterraine, naturelle ou artificielle, sans que le foisonnement des terrains sus-jacents soit suffisant à stopper la « montée de voûte ». La rupture initiale se propage plus ou moins verticalement jusqu'en surface où elle forme une excavation grossièrement conique. Les dimensions résultantes dépendent du volume de la cavité souterraine, de sa profondeur, de la nature du recouvrement et du mode de rupture. Le phénomène peut être ponctuel, on parle alors de fontis (diamètre de la cavité inférieur à 50 m, occasionnellement 100 m), ou généralisé (plusieurs hectares).

Le phénomène d'affaissement peut constituer un mouvement annonciateur d'un effondrement. L'affaissement correspond au fléchissement lent et progressif des terrains de couverture, consécutif à l'évolution d'une cavité souterraine. Il se marque par des dépressions topographiques en forme de cuvette qui peuvent ou non être délimitées par des fractures ouvertes.

Dans les terrains gypseux ou salins, la dissolution peut être très rapide (possibilité d'apparition de vides d'ampleur dangereuse en quelques dizaines d'années). Dans les calcaires, elle est par contre beaucoup plus lente, et n'évolue guère à l'échelle humaine.

Facteurs de prédisposition³ :

- La présence de vides dans le sous-sol est un facteur de prédisposition indispensable aux phénomènes effondrements et affaissements. Les vides peuvent être d'origine anthropique (carrière souterraine, caves, etc.) ou naturelle par dissolution de matériaux solubles (calcaire, gypse, sel) conduisant au phénomène de karstification, avec ouverture d'avens, etc.
- L'eau : joue plusieurs rôles : creuse certaines cavités (gypse), est responsable de l'altération physico-chimique des matériaux et met en charge les terrains de couverture ;
- La structure du gisement exploité (pendages, discontinuités), : influe directement sur la stabilité de la cavité ;
- Les paramètres d'exploitation des cavités anthropiques : taux d'exploitation, géométrie du découpage, mode d'abattage...

Facteurs déclenchant (variables dans le temps) :

- Hygrométrie : l'infiltration d'eaux superficielles ou les variations du niveau des nappes phréatiques peuvent altérer considérablement la résistance mécanique des matériaux ;

³ D'après le Classeur « Le risque mouvements de terrain en région Provence-Alpes-Côte d'Azur », coédition Région, DREAL PACA et BRGM, janvier 2011.

- Mise en charge hydraulique : après de longues périodes pluvieuses, l'augmentation de la masse des terrains de recouvrement peut entraîner l'effondrement de cavités ;
- Les séismes : provoquent des vibrations pouvant 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.)

Hors documents d'archives accessibles, les cavités souterraines sont très difficiles à localiser.

Sur la Provence cristalline, on dénombre 96 événements de type affaissement ou effondrement, c'est un phénomène relativement fréquent dans les formations gypseuses du Trias qui affleurent sur une bonne partie de la zone, et plus particulièrement sur le département du Var. Les 3 types d'événements sont observés : affaissements, fontis et effondrements généralisés.

IV.1 Affaissement



Affaissement sur la commune de Châteaudouble (Var) au lieu-dit La Baume. La dépression observée est due à la dissolution du gypse contenu dans les formations souterraines (argile, calcaire, gypse du Trias). La douceur de la morphologie et sa progression sans doute régulière laisse penser qu'un effondrement brutal n'est pas à craindre, cependant l'existence d'un réseau de vides souterrains n'est pas exclu (Des Garets, 2002). Sur ce même site, des effondrements de type fontis sont recensés.

IV.2 Fontis

MEOUNES : LE CRATERE S'EST OUVERT SUR UNE MINE DE PLÂTRE

Les spécialistes de la D.D.E. pensent qu'il faudra plusieurs jours pour réussir à combler ce trou béant

A 6 h 30, vendredi 1^{er} février, à un kilomètre à la sortie de Méounes, une voiture tombe dans un trou qui s'est ouvert inexplicablement dans la chaussée. C'est le début d'une histoire qui, au fil des jours, va poser quelques problèmes aux spécialistes de la D.D.E. en effet, ce simple trou va rapidement s'élargir pour atteindre d'abord 120 m de diamètre, puis enfin s'ouvrir en un véritable cratère de 3 mètres de diamètre. Dans un premier temps, on a sondé ce puits jusqu'à douze mètres de profondeur. Mais après y avoir déversé plus de 60 tonnes de matériaux pour le boucher, il était toujours aussi profond.

SUR le terrain, la circulation bien sûr est déviée à l'entrée de Méounes. Et une opération spéciale réalisée à Paris a été transportée sur place, d'abord par avion et camion ensuite.

Selon le responsable de la D.D.E. du secteur de Coers, il faudra plusieurs jours pour combler ce trou et rouvrir la route à la circulation.

« On en est aujourd'hui à plus de mille tonnes de matériaux déversés et on met en place une cavalerie de camions importants ».



Déjà 500 tonnes de matériaux ont été déversés dans le trou.

(Photos Jacques Duvert)

Extrait de Var Matin, février 1984



Effondrement à Méounes-les-Montrieux (Var), en amont d'une ancienne carrière souterraine d'exploitation de gypse. Le trou laissé par l'effondrement du toit de la cavité faisait 5 m de diamètre, et 12 m de profondeur. Cet évènement fut suivi par d'autres effondrements, de dimensions moindres (1999, 2000, 2008). Actuellement, la route continue régulièrement de s'effondrer et nécessite un entretien permanent (recharge des zones affaissées.). Les photos de droite montrent les signes de mouvement que l'on peut observer en se rendant sur le terrain : petit effondrement de 50 cm de diamètre sur environ 30 cm de profondeur (observation terrain février 2010), fissure sur près de 10 m de long avec quelques diverticules (observation terrain, 2002).



Effondrement sur la commune de Trans-en-Provence (Var) suite aux intempéries de juin 2010. La formation affleurant en surface est constituée de marnes dolomitiques. L'excavation formée mesure environ 2 à 3 m de profondeur sur 6 à 8 m de diamètre. Lors de la visite de terrain en septembre 2010, des témoins indiquaient un déplacement de 5 à 8 mm par jour, montrant que le mouvement était toujours actif.

IV.2 Fontis



Effondrements récurrents sur la commune de Draguignan (Var) au lieu-dit La Clappe. Les terrains gypseux triasiquesaffleurent largement sur les flancs des coteaux au nord de Draguignan. Ces terrains sont soumis au phénomènes de dissolution du gypse qui peut donner naissance à des cavités souterraines. Le quartier de La Clappe est particulièrement frappé par les évènements de type effondrement : 1976, 1998, et d'autres évènements plus anciens non datés. Photos prises lors d'une visite terrain en 2002 (Des Garets, 2002). Photo de gauche : effondrement associé à un glissement de terrain, les failles en escalier surlignées en tireté rouge, témoigne d el'activiité de l'effondrement qui évolue en glissement. Photo de droite : dépression de près de 30 m de diamètre laissée par un ancien effondrement.



Source DDTM83



Effondrement de 80 m de diamètre et de 15 m de profondeur à Bargemon (Var) le 22 août 1992. L'effondrement s'est produit dans les formations gypseuses triasiques. Cinq ans plus tôt, le 27 décembre 1987, un effondrement de 50 m de profondeur se produisait à l'est, sur la commune de Tourrettes (Var). A gauche : vue de l'effondrement de Bargemon (vue de dessus), photo de droite : vue des flancs de la dépression laissée par l'effondrement (photo prise en 2002 lors d'une visite terrain).

IV.3 Effondrement généralisé



Traces d'anciens effondrements de grande ampleur à Seillans (Var). Ces événements résultent de l'effondrement a priori progressif du toit de cavités formées par dissolution du gypse contenu dans les formations hétérogènes du Trias. Photos prises lors d'une visite sur place en 2002 (Des Garets, 2002). En pointillé, contour de la dépression laissée par l'effondrement. Les travaux mis en œuvre pour empêcher le glissement de la route sous-jacente témoignent d'instabilités encore actuelles. Photo du haut : effondrement dit du « diapir du Baguier ». Photo du bas : vaste dépression à pente douce, aujourd'hui habitée et cultivée.



Effondrement de plus de 50 m de diamètre pour une dizaine de mètres de profondeur au lieu-dit Sainte-Anne sur la commune de Montferrat (Var). L'effondrement a eu lieu dans les terrains gypsifères du Trias. La morphologie assez douce semble témoigner d'une mise en place progressive. Les pointillés soulignent les limites de l'effondrement.

Série d'effondrements de grande ampleur dans les sables ocreux de l'Albien exploités en carrière souterraine. Un premier effondrement s'est produit en 1963, puis deux autres en 1994 et 1995 au-dessus de la même galerie. Le diamètre actuel de la cavité occasionnée est d'environ 30 m.



Lieu : Gargas (Vaucluse). Source : BDMVT



Effondrement de grande ampleur (largeur de l'ouverture en surface d'environ 5 m et longueur de 10 m) recensé dans la vallée de la Roya (Terrier, 2002). La photo prise en octobre 2008 montre que l'effondrement n'a pas évolué depuis 2002. Le phénomène observé est dû à la dissolution d'une poche de gypse contenue dans les formations hétérogènes du Trias.



Centre scientifique et technique
3, avenue Claude-Guillemin
BP 36009
45060 – Orléans Cedex 2 – France
Tél. : 02 38 64 34 34

**Service géologique régional
Provence-Alpes-Côte d'Azur**
117, av. de Luminy
BP 168
13276 – Marseille Cedex09 - France
Tél. : 04 91 17 74 77