



**V<sup>e</sup> 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

Année 3 : Étude de la Provence cristalline

BRGM/RP-59163-FR

Février 2011





# V<sup>e</sup> 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

Année 3 : Étude de la Provence cristalline

Rapport final

**BRGM/RP-59163-FR**  
Février 2011

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

**F. Rivet**  
Avec la collaboration de  
**C. Mirgon, A. Navarro**

**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** : cartographie, aléa, mouvements de terrain, Provence cristalline

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

**F. Rivet 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.

© BRGM, 2011, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.

## Synthèse

Dans le cadre du IV<sup>e</sup> 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 est menée sur l'ensemble de la Région Provence-Alpes-Côte-D'azur. Cette étude a 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.

Schématiquement, la région est constituée de 3 grands domaines géologiques et géographiques - la Provence calcaire incluant le delta du Rhône, la zone alpine ou le domaine montagneux et la Provence cristalline. Chacun de ces domaines est étudié successivement.

La Provence calcaire et la Zone alpine ont fait l'objet des deux premières cartographies réalisées respectivement en 2007 et 2009. La dernière zone appelée Provence cristalline fait l'objet du présent rapport. La Provence cristalline s'étend sur trois départements : la quasi-totalité du Var, l'ouest des Alpes-Maritimes et le sud des Alpes de Haute-Provence. Sa surface totale représente 9 700 km<sup>2</sup>.

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.

A l'échelle du 1/100 000, c'est la susceptibilité aux mouvements de terrain qui est appréhendée à partir de facteurs permanents de prédisposition tels que la nature géologique des terrains et leur morphologie.

On notera que la problématique « effondrement » concerne près de 41 % du territoire étudié, dont 3,5 % concernés par des formations susceptibles d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution de gypse, 4 % susceptibles d'avoir été exploitées en carrières souterraines et 33,5 % susceptibles d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution des calcaires. L'aléa « coulées » couvre 19 % de la zone. Les autres aléas mouvements de terrain concernent des surfaces plus modestes : l'aléa glissement de terrain représente 9,5 % de la zone, l'aléa chute de blocs 8 %.

La cartographie, réalisée au 1/100 000, permettra de disposer d'un document de hiérarchisation, d'information et de sensibilisation sur les risques de mouvements de terrain de l'ensemble de la Région PACA. Cette carte constituera 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 à la réalisation de Plans de Prévention des Risques et à la prise en compte des risques mouvements de terrain à l'échelle des documents d'urbanisme).



## Sommaire

<b>1. Introduction</b> .....	<b>11</b>
<b>2. Présentation géographique et géologique de la zone d'étude</b> .....	<b>13</b>
2.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE.....	13
2.2. CADRE GÉOLOGIQUE.....	16
2.3. RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN : ÉTAT DES LIEUX DE L'INFORMATION PRÉVENTIVE ET RÉGLEMENTATION .....	21
2.3.1. Arrêtés de catastrophe naturelle .....	21
2.3.2. DDRM.....	22
2.3.3. Porté à connaissance communal / DICRIM.....	23
2.3.4. R111.3 / PER / PPR .....	24
<b>3. Typologie des mouvements de terrain étudiés</b> .....	<b>25</b>
3.1. RECENSEMENT DES DONNÉES .....	25
3.1.1. Données concernant les cavités.....	25
3.1.2. Données concernant les mouvements de terrain .....	28
3.2. TYPOLOGIE DÉTAILLÉE.....	34
<b>4. Démarche méthodologique</b> .....	<b>65</b>
4.1. INVENTAIRE ET VALORISATION DES DONNÉES EXISTANTES.....	65
4.1.1. Administratif et hydrographique.....	65
4.1.2. Géologie .....	65
4.1.3. Morphologie.....	67
4.1.4. Occupation du sol.....	69
4.1.5. Précipitations .....	70
4.1.6. Aléa mouvements de terrain.....	71
4.2. OBJECTIFS VISÉS PAR LA CARTE D'ALÉA.....	74
4.3. FACTEURS D'INSTABILITE.....	75
4.3.1. Facteurs permanents (ou de prédisposition) .....	76
4.3.2. Facteurs variables dans le temps (de déclenchement).....	78
4.4. DEMARCHE RETENUE .....	81

<b>5. Cartographie de l'aléa mouvements de terrain .....</b>	<b>83</b>
5.1. ALÉA GLISSEMENTS DE TERRAIN .....	83
5.1.1. Recensement des glissements actifs cartographiés .....	83
5.1.2. Identification des formations sensibles au phénomène .....	84
5.1.3. Regroupement des formations homogènes en termes de litho- stratigraphie .....	85
5.1.4. Analyse « litho-pente » .....	86
5.1.5. Réalisation de la carte d'aléa glissement de terrain au 1/100 000.....	89
5.2. ALÉA INSTABILITÉS ROCHEUSES .....	91
5.2.1. Identification des formations sensibles au phénomène .....	92
5.2.2. Analyse litho-pente.....	94
5.2.3. Identification des barres rocheuses .....	94
5.2.4. Cartographie des zones probables de propagation .....	94
5.2.5. Carte de l'aléa chutes de blocs et éboulements rocheux.....	95
5.3. ALÉA « COULEES » .....	98
5.4. ALÉA EFFONDREMENTS ET AFFAISSEMENTS LIÉS A DES CAVITÉS SOUTERRAINES .....	99
5.4.1. Identification des formations susceptibles de contenir des cavités naturelles.....	100
5.4.2. Identification des formations susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines .....	101
5.4.3. Identification des formations susceptibles d'être affectées par des mouvements.....	103
5.4.4. Carte de l'aléa effondrement et affaissement liés à des cavités souterraines .....	103
5.4.5. Comparaison des résultats avec la carte des vitesses linéaires issues de l'interférométrie radar différentielle.....	104
5.5. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DE L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN	107
5.6. VÉRIFICATION ET CORRECTIONS CARTOGRAPHIQUES.....	108
<b>6. Pré-analyse du risque .....</b>	<b>111</b>
6.1. INTRODUCTION.....	111
6.2. PRE-ANALYSE DU RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN SUR LES BASSINS DE RISQUE DE LA ZONE .....	111
6.3. COMMUNES EXPOSÉES À L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN.....	115

6.4. RÉSEAUX DE TRANSPORT ROUTIERS EXPOSÉS À L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN .....	118
<b>7. Conclusion .....</b>	<b>121</b>
<b>8. Bibliographie.....</b>	<b>123</b>

## Liste des illustrations

Illustration 1 : Découpage de la région en trois domaines étudiés successivement (d'après BD ALTI ® - © IGN 2000) .....	13
Illustration 2 : Cadre géomorphologique (d'après le MNT de l'IGN au pas de 50 mètres) .....	14
Illustration 3 : Identification des bassins de risque sur la Provence cristalline .....	16
Illustration 4 : Carte des formations géologiques regroupées par période stratigraphique (d'après les cartes géologiques harmonisées du BRGM au 1/50 000) .....	17
Illustration 5 : Carte des failles actives et des séismes historiques recensés sur la zone .....	20
Illustration 6 : Carte des communes concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle « mouvements de terrain » .....	22
Illustration 7 : Communes disposant d'un DICRIM .....	23
Illustration 8 : État des lieux de l'avancée de la cartographie réglementaire (PPR) liée au risque mouvements de terrain sur la zone.....	24
Illustration 9 : Localisation des cavités souterraines d'origine naturelle (extrait de BD Cavité, <a href="http://www.cavites.fr">www.cavites.fr</a> ).....	26
Illustration 10 : Localisation des carrières souterraines ou mixtes (exploitation souterraine et à ciel ouvert) sur la Provence cristalline (extrait de BD Carol, <a href="http://www.carol.brgm.fr">www.carol.brgm.fr</a> ) .....	27
Illustration 11 : Tableau récapitulatif des différentes sources de données et du nombre d'évènements collectés.....	29
<i>Illustration 12 : Localisation des mouvements de terrain recensés sur la zone d'étude .....</i>	<i>30</i>
Illustration 13 : Nombre d'évènements recensés par bassin de risque .....	31
Illustration 14 : Assemblage des cartes géologiques numériques au 1/50 000 sur la Provence cristalline .....	66
Illustration 15 : Carte finale des formations géologiques obtenue après regroupement des formations selon des critères stratigraphique et lithologique .....	67
Illustration 16 : Cartes des pentes calculées à partir du MNT de l'IGN au pas de 50m .....	68
Illustration 17 : Carte des barres rocheuses (en rouge) digitalisées à partir des Scan 25 IGN et des orthophotos de l'IGN.....	69
Illustration 18 : Occupation des sols simplifiée (CORINE LAND COVER®) .....	70
Illustration 19 : Localisation des cartes de risque utilisées sur la Provence cristalline.....	71

Illustration 20 : Emprise des images radar acquises pour l'analyse interférométrique .....	73
Illustration 21 : Carte des vitesses linéaires des déplacements issues du traitement des images radar par analyse interférométrique (visualisation sur image Google Earth) .....	73
Illustration 22 : Synthèse des principaux facteurs d'instabilités (Colas, 2008).....	80
Illustration 23 : Carte des regroupements des formations sensibles aux glissements en fonction de leur litho-stratigraphie (âges et natures des formations similaires) .....	85
Illustration 24 : Tableau des regroupements des formations géologiques sensibles aux glissements et classes de pentes associées.....	86
Illustration 25 : Talus sableux dans la couverture d'altération des Grés d'Annot (photo prise à Menton suite aux événements de 2000) .....	87
Illustration 26 : Affleurement des Grès d'Annot sous leur forme origine (observation terrain, avril 2010, Le Fugeret, Alpes de Haute-Provence).....	88
Illustration 27 : Affleurement des conglomérats de Valensole (observation terrain, avril 2010, Digne-les-Bains, Alpes de Haute-Provence).....	88
Illustration 28 : Affleurement des phyllades sous leur forme indurée : roches métamorphiques formant des falaises le long du littoral (observation terrain au Pradet (Var), mars 2003).....	89
Illustration 29 : Affleurement des phyllades sous leur forme altérée, photo de droite zoom sur talus (observation terrain au Cap Brun (Toulon) en mars 2003) .....	89
Illustration 30 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa glissement de terrain .....	90
Illustration 31 : Cartographie régionale de l'aléa glissement de terrain sur la Provence cristalline.....	91
Illustration 32 : Cartes des lithologies sensibles aux instabilités rocheuses .....	93
Illustration 33 : Zones de départ des chutes de blocs et éboulement et zones de réception des blocs les plus probables.....	95
<i>Illustration 34 : Cartographie de l'aléa chutes de blocs et éboulements au 1/100 000.....</i>	<i>96</i>
Illustration 35 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa instabilités rocheuses .....	97
Illustration 36 : Carte de l'aléa « coulées » sur la Provence cristalline .....	98
Illustration 37 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa « coulées ».....	99
Illustration 38 : Délimitation des tampons périphériques autour des formations susceptibles de contenir des cavités .....	101
Illustration 39 : Formations géologiques susceptibles de contenir des cavités d'origine naturelles .....	101
Illustration 40 : Localisation des formations géologiques susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines et positions des carrières souterraines abandonnées connues .....	102
Illustration 41 : Exemple d'effondrement pouvant se produire dans une formation meuble recouvrant une cavité formée par dissolution de gypse .....	103
Illustration 42 : Carte de l'aléa affaissement et effondrement associés à des cavités souterraines .....	104

Illustration 43 : Comparaison de la carte des vitesses linéaires avec la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 : en haut carte des vitesses linéaires sur la zone de Bras (visualisée sur Google Earth), en bas carte de l'aléa effondrement au 1/100 000.....	105
Illustration 44 : Comparaison de la carte des vitesses linéaires avec la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 : à gauche carte des vitesses linéaires autour de Puget-sur-Argens (visualisée sur Google Earth), à droite carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 .....	106
Illustration 45 : Comparaison de la carte des vitesses linéaires avec la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 : à gauche carte des vitesses linéaires sur la autour de Grasse (visualisée sur Google Earth), à droite carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 .....	107
Illustration 46 : Carte synthétique de l'aléa mouvements de terrain, hors aléa affaissements et effondrements de cavités souterraines.....	108
Illustration 47 : Vérification sur le terrain des résultats de la cartographie aléa chute de blocs et éboulement rocheux ; à gauche : point terrain et carte d'aléa, à droite : illustration terrain de la barre rocheuse et de la zone de propagation potentielle des produits de l'éboulement.....	109
Illustration 48 : Pourcentage de surface concernée par l'aléa glissement de terrain, chute de blocs et éboulement, « coulées », effondrements et affaissement par bassin de risque.....	112
Illustration 49 : Représentation des bassins de risque en fonction du pourcentage de leur surface concernée par un aléa mouvements de terrain de type glissement, chute de blocs, « coulées » et effondrement ou affaissement .....	113
Illustration 50 : Représentation des communes en fonction du pourcentage de leur surface concernée par l'aléa mouvements de terrain de type chute de blocs, glissement de terrain, « coulées » et effondrement .....	116
Illustration 51 : Tronçons routiers exposés à l'aléa chute de blocs .....	118
Illustration 52 : Tronçons routiers exposés à l'aléa glissement de terrain .....	119
Illustration 53 : Tronçons routiers exposés à l'aléa « coulées » .....	119
Illustration 54 : 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 .....	120

## Cartes A0

Cartes 1 et 2 : Carte régionale de l'aléa glissement de terrain

Cartes 3 et 4 : Carte régionale de l'aléa chute de blocs

Cartes 5 et 6 : Carte régionale de l'aléa « coulées »

Cartes 7 et 8 : Carte régionale de l'aléa effondrement et affaissement lié à la présence de cavités souterraines



# 1. Introduction

Dans le cadre du IV<sup>e</sup> Contrat de Plan Etat-Région, le BRGM a initié une cartographie régionale de l'aléa à la demande du Conseil Régional PACA et de la DREAL PACA. La dernière phase de cette cartographie est menée au sein de l'actuel Contrat de Projet État-Région 2007-2013. 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. Les deux premières zones – Provence calcaire et rhodanienne, Zone alpine – ont fait l'objet de deux études antérieures menées en 2007 et 2009<sup>1</sup>.

La Provence cristalline s'étend sur la quasi-totalité du Var, l'ouest des Alpes-Maritimes et le sud des Alpes de Haute-Provence. Les zones de reliefs se rencontrent majoritairement dans sa moitié nord et sont caractéristiques des reliefs de moyenne à basse montagne. Au sud, elle est limitée par la Méditerranée et son littoral majoritairement rocheux et très découpé.

Après une présentation générale de la zone, une typologie des mouvements de terrain est proposée à partir des évènements collectés. La démarche méthodologique suivie pour l'élaboration de la carte d'aléa mouvements de terrain à l'échelle régionale est basée sur une analyse des facteurs favorisant l'apparition des mouvements de terrain. La méthode permet d'obtenir des cartes de susceptibilité des terrains aux phénomènes de mouvements de terrain.

Dans le but de dégager les priorités d'action en matière de gestion des risques liés aux mouvements de terrain, une pré-analyse du risque sur les bassins de risque - les communes et le linéaire routier - a été réalisée à partir de la cartographie de la susceptibilité et des principaux enjeux exposés.

---

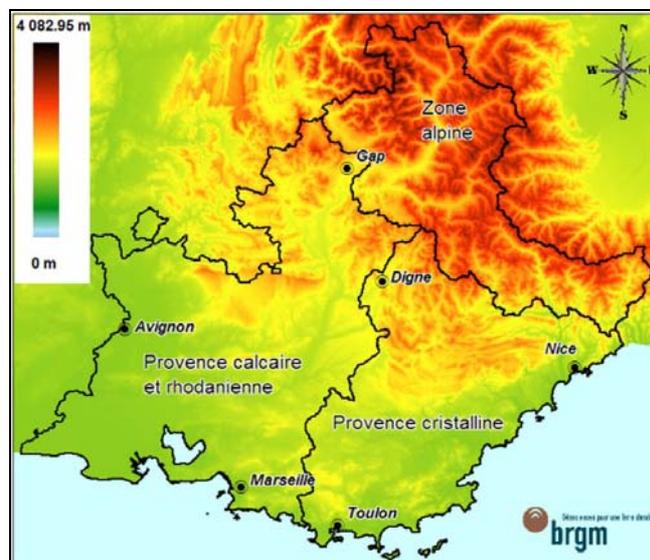
<sup>1</sup> Rapport BRGM/RP-55710-FR (Rivet & al., 2007) et Rapport BRGM/RP-56762-FR (Rivet & al., 2009)



## 2. Présentation géographique et géologique de la zone d'étude

### 2.1. CADRE GÉOGRAPHIQUE

Dans le cadre de la cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain, la région a été découpée en trois zones (Illustration 1). La Provence cristalline est la troisième et dernière zone étudiée.



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

La zone s'étend sur trois départements (Illustration 2) : l'ouest des Alpes-Maritimes, le sud des Alpes de Haute-Provence et la quasi-totalité du Var. Sa surface totale est de 9 700 km<sup>2</sup>.

La zone est appelée Provence cristalline, mais les terrains rencontrés sont à la fois à dominance cristalline et calcaire. Pour être parfaitement cohérent avec la géologie, on pourrait parler de Provence cristalline et calcaire.

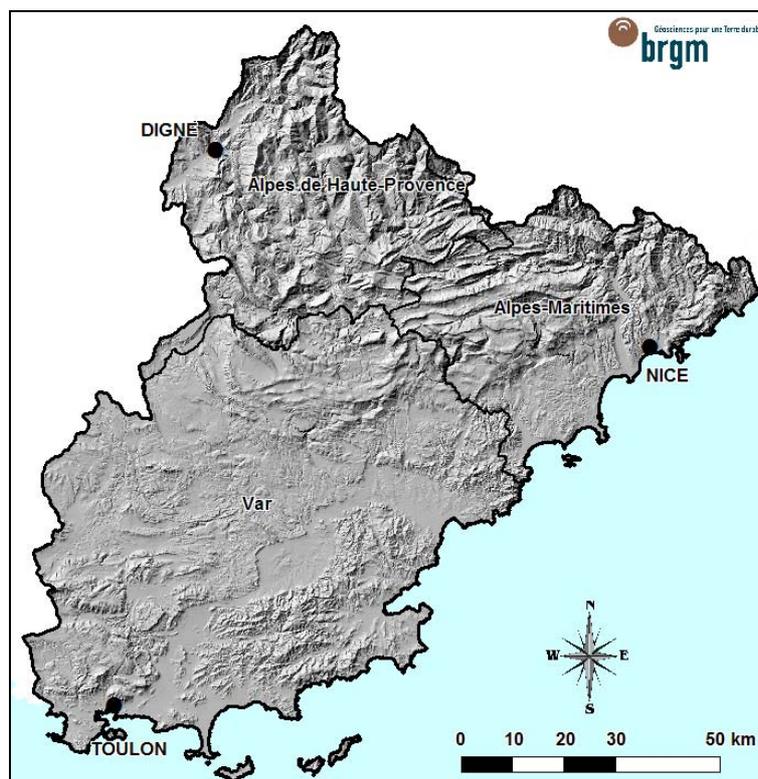


Illustration 2 : Cadre géomorphologique (d'après le MNT de l'IGN au pas de 50 mètres)

Le nord – nord-est de la zone est découpé 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 trouve les massifs des Maures, de l'Estérel et du Tanneron. Ces massifs, cristallin 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.

Les cours d'eau traversant les reliefs calcaires ont creusé leur lit en donnant naissance à des gorges aux dimensions parfois spectaculaires comme on peut l'observer dans les gorges du Verdon au nord de la zone. On peut citer également les gorges

d'Ollioules au nord de Toulon, les gorges du Loup au nord-ouest de Nice ou encore les gorges de la Mescla et de la Vésubie au nord de Nice.

Au centre de la zone, les massifs cristallins du sud sont ceinturés par une dépression de terrains rouges d'âge ancien (Permien) – « dépression permienne » - qui va de l'ouest de Toulon jusqu'à Saint-Raphaël.

Le littoral s'étend sur plusieurs centaines de kilomètres. Principalement constitué de falaises rocheuses, la côte sableuse prend son développement localement comme dans la région hyéroise.

De la même façon que sur la Zone alpine, on peut diviser la Provence cristalline en plusieurs territoires géomorphologiques identifiés lors des inventaires départementaux des phénomènes naturels majeurs et des enjeux sur la région PACA<sup>2</sup>. Ces inventaires ont amené à définir des zones géographiques conservant les caractéristiques du milieu physique et regroupant plusieurs communes soumises à des risques naturels (Illustration 3). Du nord au sud et d'est en ouest, on trouve les bassins (ou vallées) de risque suivants : sud de la vallée du Haut-Verdon ; une partie du bassin de risque de Castellane, le Pays A3V : territoire de moyenne montagne traversé par quatre cours d'eau : Asse, Var, Vaïre, Verdon ; le Haut-Var ; une partie du Var-Vésubie incluant les gorges de la Mescla et le début des gorges de la Vésubie ; les Préalpes ouest ; le littoral : Littoral est, centre et ouest ; le pays de Fayence ; le Dracénois ; le Var Estérel ; la Provence verte où l'Argens prend sa source ; le Golfe de Saint-Tropez et la Provence méditerranée.

Le bassin de risque du Pays A3V a fait l'objet d'une étude multirisque en 2009-2010<sup>3</sup>. Dans le cadre de cette étude une cartographie de l'aléa mouvements de terrain a été réalisée par les services RTM.

A noter que plus de la moitié de la zone Provence cristalline (65 %) est recouverte par un couvert végétal, de type forêt, verger ou vignoble. Ceci est particulièrement flagrant au centre de la zone : territoires de la Provence verte, Provence méditerranée et golfe de Saint-Tropez, recouverts en grande partie de forêts.

---

<sup>2</sup> Marçot 2002, Gonzales 2000 et 2001

<sup>3</sup> Marçot N. et al. (2010)



Illustration 3 : Identification des bassins de risque sur la Provence cristalline

## 2.2. CADRE GÉOLOGIQUE

Les formations géologiques affleurant sur la zone sont d'âges variés. Les formations du Secondaire (-250 à -65 millions d'années (Ma) représenté par les systèmes du Trias, Jurassique et du Crétacé) sont particulièrement représentées, mais on note également une forte présence des terrains cristallins et métamorphiques qui représentent plus de 12 % de la surface totale de la zone. Les terrains du Tertiaire (-65 à -3,4 Ma représenté par les systèmes du Paléogène et du Néogène) et du Quaternaire (-3,4 Ma à nos jours) affleurent sur des surfaces moins étendues (Illustration 4).

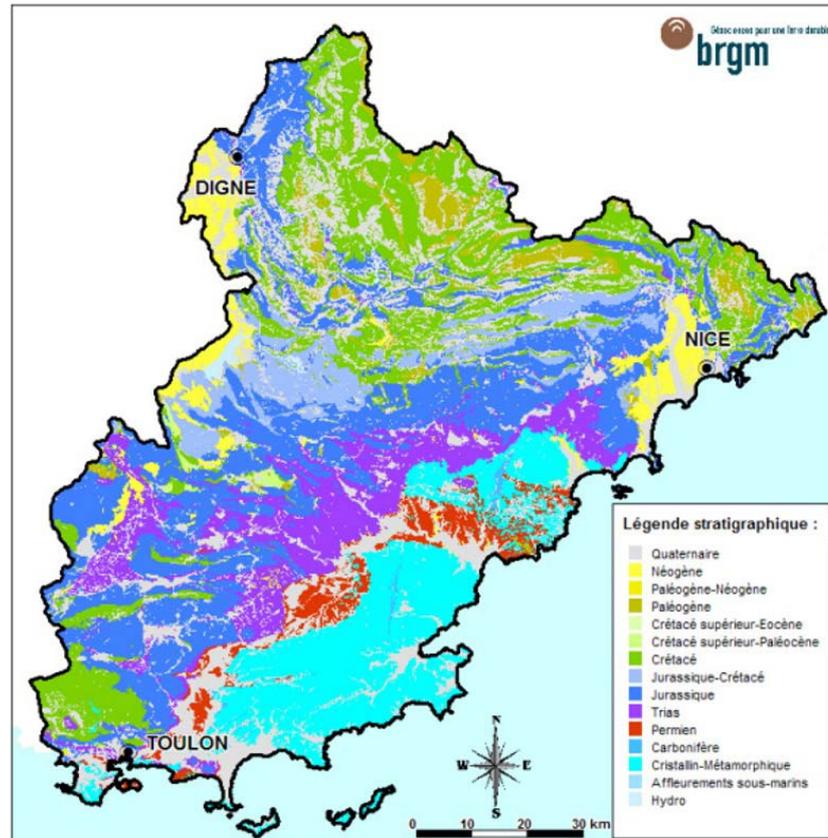


Illustration 4 : Carte des formations géologiques regroupées par période stratigraphique (d'après les cartes géologiques harmonisées du BRGM au 1/50 000)

Le **socle** d'âge primaire est constitué par les massifs cristallins et métamorphiques des Maures et de l'Estérel, par les formations carbonifères et par les sédiments détritiques du Permien.

Les **formations cristallines et métamorphiques** sont représentées par des gneiss, micaschistes et phyllades. Sur le littoral, les faciès peuvent être couverts d'une couche de colluvions issues de leur altération. Selon la pente et les directions de schistosité des phyllades, ces derniers peuvent être instables et être alors le siège de glissements de terrains plus ou moins importants (exemple des glissements du Cap Brun à Toulon). Le massif de l'Estérel est principalement composé de gneiss et de rhyolite qui sont recouverts en grande partie par des éboulis.

Le **Carbonifère supérieur** (-303 à -290 Ma) vient en discordance sur l'ensemble des terrains précédents. Il forme plusieurs bassins houillers continentaux, dont les principaux qui furent exploités autrefois pour le charbon, sont ceux du Reyran et de Pennafort, dans le massif du Tanneron, du Plan de la Tour dans les Maures, des

Playes dans les massifs toulonnais. C'est une accumulation puissante mais localisée de grès et schistes continentaux, avec des intercalations de rhyolite<sup>4</sup>.

Le **Permien** (-290 à -245 Ma) recouvre le tout en discordance. Il présente un faciès de grès et schistes rouges. Les conglomérats prédominent à la base et les pélites rouges au sommet de cette formation qui peut atteindre des puissances considérables (2 000 m environ dans la cuvette du Luc).

La **couverture sédimentaire** d'âge secondaire, comprend la terminaison orientale du bassin du Beausset (principalement des terrains crétacés), la bordure triasique au contact de la dépression permienne, ainsi que les massifs crétacés et jurassiques des préalpes du sud. Ces derniers forment une structure tabulaire au nord dite zone des plans (zone de l'Arc de Castellane). La couverture sédimentaire est également composée des formations tertiaires du delta du Var, au sud, et du nord du plateau de Valensole.

Le **Trias** (-245 à -208 Ma) affleure sur près de 10 % de la zone, principalement selon une bande centrale est-ouest, mais également sur des surfaces plus modestes à l'est et au nord. Le Trias moyen, composé principalement de calcaires et de dolomies, et plus localement de marnes, affleure dans les bassins de risque de la Provence verte, du Dracénois, de Fayence, et de façon plus limitée sur le littoral ouest niçois. On retrouve sur ces mêmes territoires les formations du Trias moyen-supérieur, largement représentées, notamment en Provence verte et Dracénie. Il s'agit de formations très hétérogènes, composées d'argiles, gypses, dolomies, cargneules. La présence de gypse, roche soluble, tendre et litée, provoque de multiples désordres de type gravitaire : chute de blocs si le pendage des couches est conforme à la pente du versant, et glissements de terrain. Ces derniers affectent également les terrains argileux imbibés par les eaux en provenance des gypses. Mais ce sont principalement les effondrements liés à la présence de cavités souterraines dans le gypse que l'on remarque par leur fréquence et leurs dimensions qui peuvent atteindre parfois des proportions importantes (exemple de l'effondrement de Bargemon (Dracénie) : 80 m de diamètre). Ces phénomènes donnent en surface de profonds entonnoirs, souvent à travers la couverture quaternaire. Les cargneules, roches vacuolaires, hétérogènes, friables, peuvent également être à l'origine d'instabilités gravitaires de type chutes de blocs. Le Trias supérieur, moins étendu, contient également du gypse et des cargneules.

Les formations du **Jurassique** (-208 à -145,6 Ma) représentent près de 30 % de la surface totale de la zone. Ce sont principalement des lithologies rocheuses que l'on rencontre sur cette période : calcaires, dolomies, calcaires dolomitiques... Lorsqu'elles sont entaillées par un cours d'eau, ces formations peuvent donner des gorges profondes où des éboulements en masse peuvent se produire : gorges de la Mescla dans la vallée du Var, gorges d'Ollioules dans la Provence méditerranéenne ou encore les gorges du Verdon au sud de Castellane. Le long du littoral, côté est, les falaises calcaires qui dominent le bord de mer, peuvent également donner des éboulements qui

---

<sup>4</sup> Debelmas, 1974

gênent la circulation sur les routes de la frange littorale. Plus localement, le Jurassique peut affleurer sous une forme franchement marneuse. Ces marnes de couleur sombre et de consistance meuble, sont appelées terres noires. On les trouve au nord de la zone (vallée du Haut-Verdon). Elles sont particulièrement soumises aux phénomènes de type ravinements et glissements (glissement de Villard-des-Dourbes).

Les formations **crétacées** (-145,6 à -65 Ma) affleurent sur plus de 20 % de la surface totale de la zone. Elles présentent des faciès variés : calcaires, alternances marno-calcaires, marnes, calcaires argileux, grès, sables, argiles. On les retrouve à l'ouest de la zone et dans la moitié nord : vallée du Haut-Var-Verdon, Pays A3V, Préalpes ouest, vallée du Var et de la Vésubie, et plus modestement le long du littoral ouest. Suivant le type de lithologie, ces formations vont être soumises à des phénomènes gravitaires de type glissement de terrain (prédominance de marnes) ou chutes de blocs (lithologie rocheuse).

Les formations du **Tertiaire** (-65 à -3,4 Ma) affleurent dans la moitié nord de la zone et au sud-est. Elles représentent moins de 10 % de la surface totale de la zone (environ 7 %). Dans la moitié sud (littoral ouest, centre et est), ce sont principalement des poudingues et marnes (marnes bleues du Pliocène), et des grès (grès d'Annot). Les poudingues et grès peuvent être très altérés et couverts d'un manteau détritique éluvial sableux. Ces formations sont le siège de nombreux glissements. Au nord, on retrouve des faciès marneux et conglomératiques, et également la formation des grès d'Annot. Le Tertiaire affleure aussi sous la forme de calcaires. Les marnes peuvent contenir des traces de gypse (marnes gypsifères).

L'ensemble des faciès du **Quaternaire** (-3,4 Ma à nos jours) représente 22 % de la zone. On y trouve souvent des éboulis et colluvions issus de l'altération sur place de formations marneuses ou calcaires du Jurassique et Crétacé. Ces formations détritiques peuvent être très développées également au pied des pentes. Les différents cours d'eau qui traversent la zone sont à l'origine du dépôt d'alluvions quaternaires composées de limons, cailloutis, graviers, sable. Plus localement, au centre de la zone (Provence verte et Dracénie), affleurent des édifices complexes de tufs calcaires (roche sédimentaire plus ou moins vacuolaire), favorables aux chutes de pierres et de blocs.

D'un point de vue sismotectonique, la région PACA, bien qu'éloignée de la frontière entre les plaques tectoniques africaine et eurasiennne, subit les effets de cette rencontre. Cela se manifeste par la présence de failles actives pouvant donner des séismes d'intensité modérée. En 2006, la cartographie des failles actives menée sur la région PACA (Terrier, 2006) a mis en évidence trois systèmes de failles actifs sur la zone considérée (Illustration 5) :

- l'arc de Castellane (secteur A de l'illustration 5), constitué des failles inverses de Chasteuil-Taloire, et décrochantes de Guillaume-Daluis et du Poil. Ces failles seraient à l'origine des séismes du 12/12/1855 d'intensité épicentrale VIII et du 30/11/1951 d'intensité épicentrale VII-VIII ;

- l'arc de Digne (secteur B de l'illustration 5) à l'origine des secousses historiques du 19/05/1866 (intensité épiscopentrale=VII-VIII) et du 09/06/1863 (intensité épiscopentrale de VII) ;
- système de failles de la Vésubie (secteur C de l'illustration 5) : ces failles d'orientations à peu près parallèles à la vallée de la Vésubie montrent un mouvement de type décrochant. Les séismes du 23/06/1494, 20/07/1564, 18/01/1618 et du 15/02/1644 seraient dus à l'activité de ces failles.

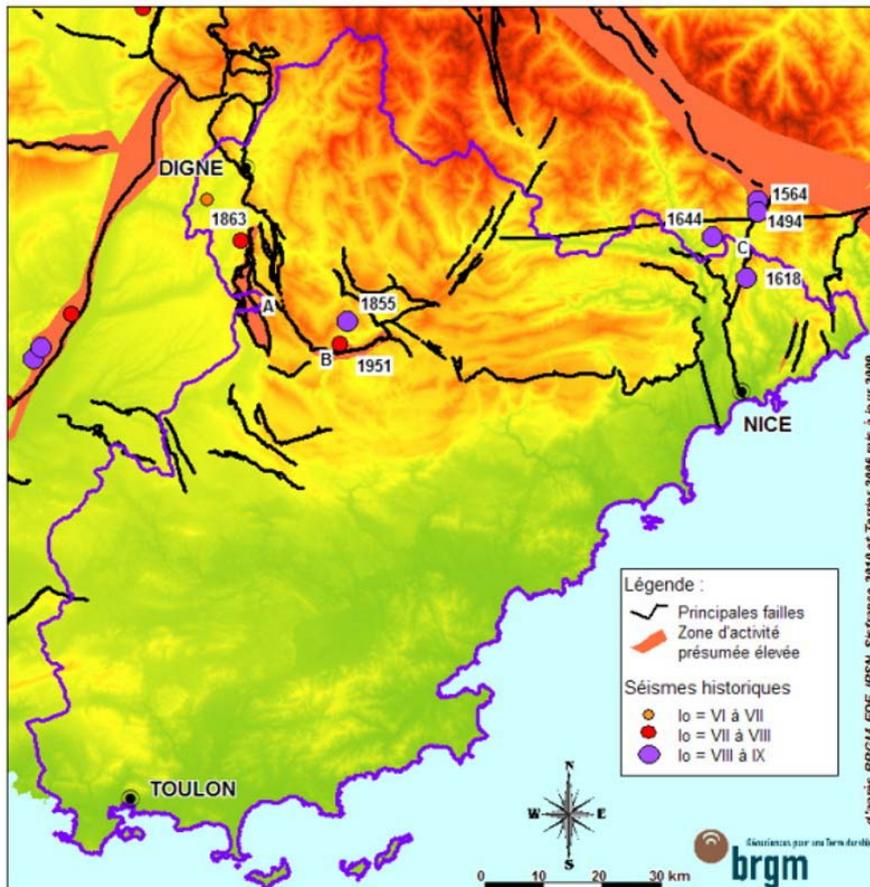


Illustration 5 : Carte des failles actives et des séismes historiques recensés sur la zone

En ce qui concerne le rôle des failles dans l'apparition des mouvements gravitaires, il peut être de deux types :

- lorsqu'un séisme se produit le long d'une faille, l'accélération qui affecte les terrains parcourus par les ondes sismiques, peut accentuer ou provoquer la déformation des terrains, laquelle peut aller jusqu'à leur mise en mouvement : chutes de blocs, glissements ou effondrements de cavités ;

- les déformations tectoniques induisent des fractures au sein des formations rocheuses créant ainsi des zones de moindre résistance mécanique. Des fractures locales peuvent délimiter des blocs rocheux instables.

### **2.3. RISQUE MOUVEMENTS DE TERRAIN : ÉTAT DES LIEUX DE L'INFORMATION PRÉVENTIVE ET RÉGLEMENTATION**

Les mouvements de terrain liés au retrait-gonflement des sols argileux (tassements différentiels liés à la sécheresse et réhydratation) ne sont pas intégrés à cette cartographie régionale et ne sont par conséquent pas intégrés aux synthèses sur l'information préventive qui suivent. En effet, la prise en compte de cet aléa a fait l'objet de cartographies à l'échelle départementale, par le BRGM, dans les Bouches-du-Rhône, le Vaucluse, les Alpes de Haute-Provence, le Var, les Hautes-Alpes et est en cours de validations pour les Alpes-Maritimes. Ces cartographies doivent permettre la réalisation de Plan de Prévention des Risques sur les communes les plus concernées par ces phénomènes. Début 2011, l'ensemble de la région PACA sera couverte par la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux.

L'ensemble des données présentées est compilé depuis la base Gaspar accessible sur le site du Ministère en charge de l'environnement (MEDDTL) ([www.prim.net](http://www.prim.net)). Les données ont été extraites le 29 novembre 2010.

#### **2.3.1. Arrêtés de catastrophe naturelle**

La loi n° 82-600 modifiée du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles (art. L.125-1 à L.125-6 du code des assurances) a pour objet l'indemnisation des biens assurés, suite à une catastrophe naturelle, par un mécanisme faisant appel à la solidarité nationale. L'indemnisation des catastrophes naturelles est possible dans le cas où celles-ci font l'objet d'un arrêté inter-ministériel de catastrophe naturelle publié au journal officiel. Selon le MEDDTL (base Gaspar du site [www.prim.net](http://www.prim.net)), entre 1982 et 2010, 124 communes situées sur la zone alpine ont été reconnues en état de catastrophe naturelle. Les mouvements de terrain concernés par cet arrêté sont : éboulements (14 communes), glissement (40 communes), coulées de boue, affaissement et effondrement (7 communes) (Illustration 6). Pour 63 communes, le type de mouvement n'est pas précisé.

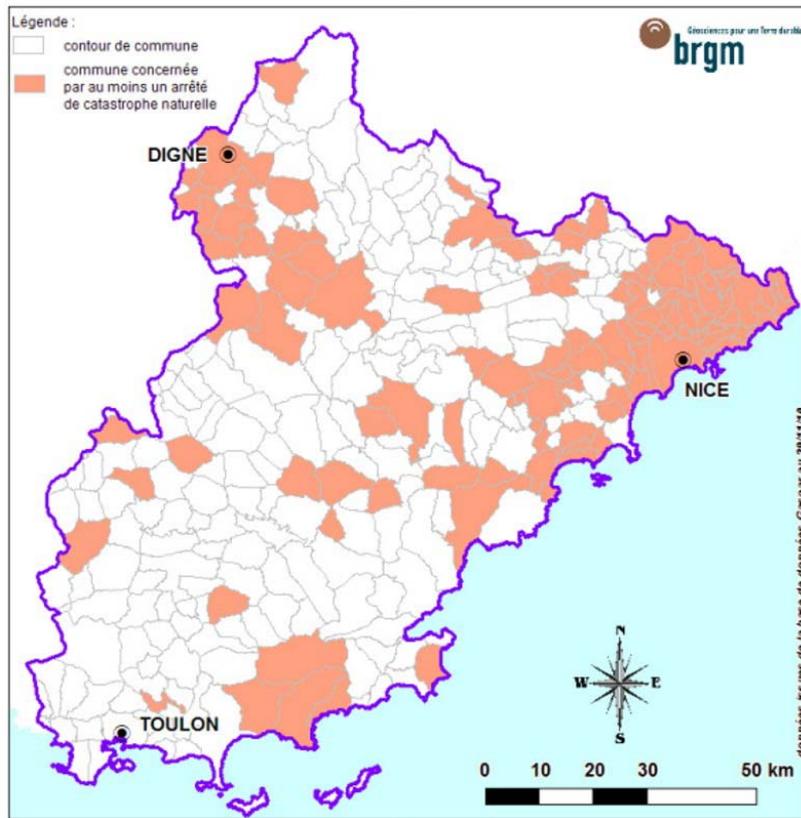


Illustration 6 : Carte des communes concernées par au moins un arrêté de catastrophe naturelle « mouvements de terrain »

### 2.3.2. DDRM

La loi du 13 août 2004, au terme de l'article 1 « La sécurité civile a pour objet la prévention des risques de toutes natures, l'information et l'alerte des populations ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement contre les accidents, les sinistres et les catastrophes. », est venue parachever un processus engagé depuis le début des années 2000 tendant à moderniser fondamentalement la sécurité civile. La loi de modernisation de la sécurité civile vient ainsi compléter la loi du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels, et prévoit dorénavant que l'information fait partie intégrante de la sécurité civile. Dans ce cadre le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) constitue la contribution des services de l'Etat à la connaissance des risques. Ce recueil de données, établi par le Préfet, est destiné à partager l'information avec les élus, les acteurs de terrain et les citoyens pour une meilleure prévention des risques. Les trois départements de la zone Provence cristalline possèdent un DDRM. Il est consultable en mairie, à la Préfecture et en Sous-Préfecture.

### 2.3.3. Porté à connaissance communal / DICRIM

Le dossier de Porter à Connaissance communal (PAC) est mis à disposition des maires par la Préfecture. Les éléments cartographiques de représentation de l'aléa et des zones aménagées et urbanisées sont élaborés en fonction des connaissances et des documents réglementaires de référence détenus à ce jour. Ce Porté à Connaissance communal est évolutif et est mis à jour en fonction de l'état des connaissances en matière de risques majeurs. Ce document remplace l'ancien Document Communal Synthétique (DCS) sur les risques. A l'aide du PAC sur les risques, le maire réalise le Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM). Ce document a pour but d'informer les habitants de la commune sur les risques naturels et technologiques qui les concernent. Il comporte les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde mises en œuvre ainsi que les moyens d'alerte en cas de survenance d'un risque. Il vise aussi à indiquer les consignes de sécurité individuelles à respecter, consignes qui font également l'objet d'une campagne d'affichage, organisée par le maire et à laquelle sont associés les propriétaires de certains bâtiments (locaux à usage d'habitation regroupant plus de quinze logements par exemple). L'ensemble des dispositions réglementaires concernant le DICRIM est aujourd'hui codifié au Code de l'Environnement (CE), articles R125-9 à R125-14. Elles sont complétées par le décret n°2005-233 du 14 mars 2005 relatif à l'établissement des repères de crues et par le décret n°2005-1156 du 13 septembre 2005 relatif au plan communal de sauvegarde. Sur la zone, 41 communes possèdent un DICRIM (Illustration 7). Ces communes sont situées dans le quart sud-est de la zone (littoral ouest, centre et est).

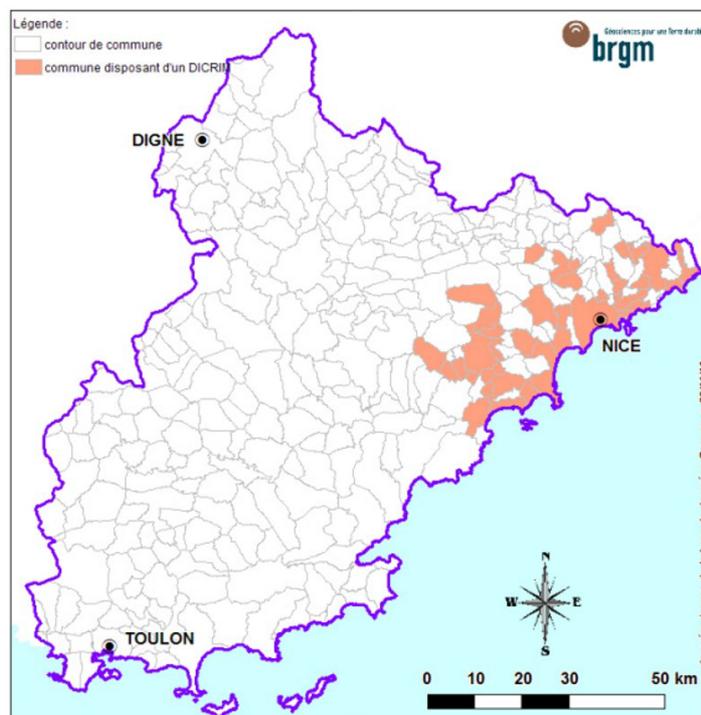


Illustration 7 : Communes disposant d'un DICRIM

### 2.3.4. R111.3 / PER / PPR

La cartographie de l'aléa lié aux mouvements de terrain s'est développée en France entre 1969 et 1970 après de dramatiques événements liés à des phénomènes naturels et faisant de nombreuses victimes (catastrophes du Plateau d'Assy et de Val d'Isère). A l'époque, les pouvoirs publics ne disposaient que de textes très généraux comme le code de l'Urbanisme dont l'article R111.3 stipulait « La construction sur des terrains exposés à un risque tel que : inondation, érosion, affaissement, éboulement, avalanche peut, si elle est autorisée, doit être soumise à des conditions spéciales. Ces terrains sont délimités par arrêté préfectoral... ». Dès 1967, une cartographie innovante par commune, s'appliquant aux mouvements de terrain et aux aléas hydrauliques et nivologiques (Isère), fut lancée en application de l'article R111.3. C'est toutefois la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, qui va généraliser la cartographie des risques naturels dans la pratique administrative. Cette loi repose sur deux principes, la solidarité nationale et la responsabilisation des intéressés. L'état met alors en place l'élaboration des Plans d'Exposition aux Risques naturels prévisibles (PER) à l'échelle communale (voire intercommunale) couvrant quatre types d'aléas (sismique, hydrologique, nivologique et mouvements de terrain). Assez peu de PER ont été réalisés. Enfin, la législation a évolué avec la loi du 2 février 1995 relative à la protection de l'environnement. Avec cette loi sont créés les Plans de Prévention des Risques naturels (PPR). La loi instaurant les PPR n'est plus une loi d'assurance mais une véritable loi de sécurité civile et d'aménagement du territoire. Sur l'ensemble de la Provence cristalline, 86 PPR liés au risque mouvements de terrain ont été prescrits, dont 52 approuvés (Illustration 8).

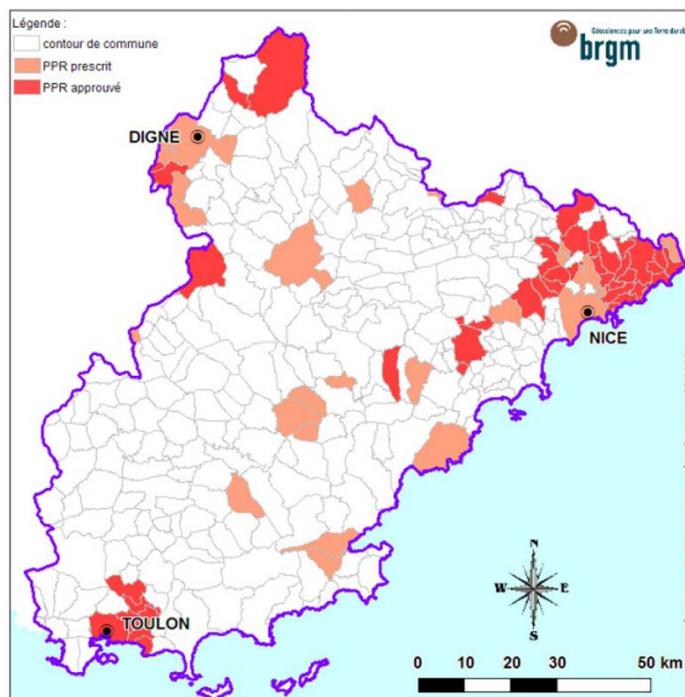


Illustration 8 : État des lieux de l'avancée de la cartographie réglementaire (PPR) liée au risque mouvements de terrain sur la zone

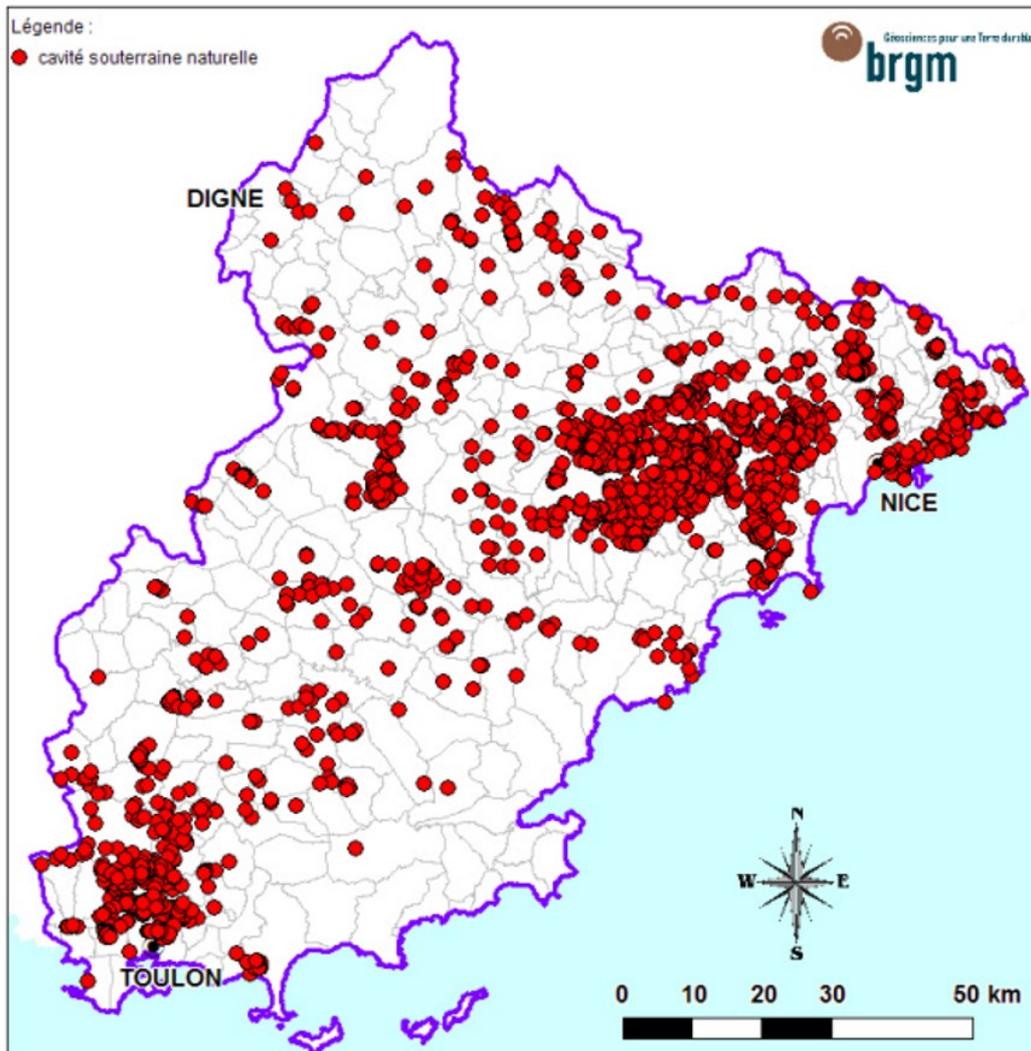
## 3. Typologie des mouvements de terrain étudiés

### 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, il est nécessaire de connaître les formations susceptibles d'abriter ces cavités, qu'elles soient d'origine naturelle (dissolution) ou anthropique (carrière souterraine). Un inventaire des cavités souterraines de la Provence cristalline a été réalisé. La collecte et la localisation des cavités ont été effectuées à partir principalement de la base de données nationale sur les cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine « hors mines » : **BD cavité** ([www.cavites.fr](http://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.

Les trois départements concernés en Provence cristalline ont fait l'objet d'inventaires récents : en 2007 pour les Alpes de Haute-Provence, 2006 pour le Var et 2003 pour les Alpes-Maritimes. En tout, 4 220 cavités d'origine naturelle sont identifiées sur la zone, dont 2 720 avec une précision satisfaisante (Illustration 9). Ce sont principalement des cavités de type aven, grotte et baume. Les formations les plus concernées sont les formations calcaires et dolomitiques du Jurassique et du Crétacé inférieur : 654 avens ou grottes recensés dans les calcaires du Jurassique supérieur-Crétacé inférieur, 283 dans les calcaires du Jurassique supérieur ou encore 158 dans les calcaires dolomitiques du Jurassique moyen. Les cavités recensées dans ces formations sont liées à la présence de karsts formés par la dissolution du calcaire. Plusieurs dizaines de cavités sont également recensées dans les formations hétérogènes du Trias (argiles, gypses, dolomies, cargneules). L'origine de ces cavités est due à la dissolution de poches de gypse au sein de la formation.



*Illustration 9 : Localisation des cavités souterraines d'origine naturelle  
(extrait de BD Cavité, [www.cavites.fr](http://www.cavites.fr))*

Concernant les carrières souterraines, elles sont situées majoritairement dans le Var (14), puis dans les Alpes-Maritimes (9).

L'inventaire des carrières souterraines est directement issu de la **Base de données Carol**. Cette base, mise en place par la DREAL PACA et le BRGM ([carol.brgm.fr](http://carol.brgm.fr)) répertorie l'ensemble des carrières souterraines ou mixtes (exploitation à ciel ouvert et souterraine) sur la région PACA. La majorité des carrières recensées dans la base n'est plus en activité. 23 carrières souterraines sont recensées sur la zone d'étude (Illustration 10). Les données afférentes apportent une information sur les formations exploitées, donc susceptibles de contenir des cavités souterraines, et par conséquent sensibles aux effondrements.

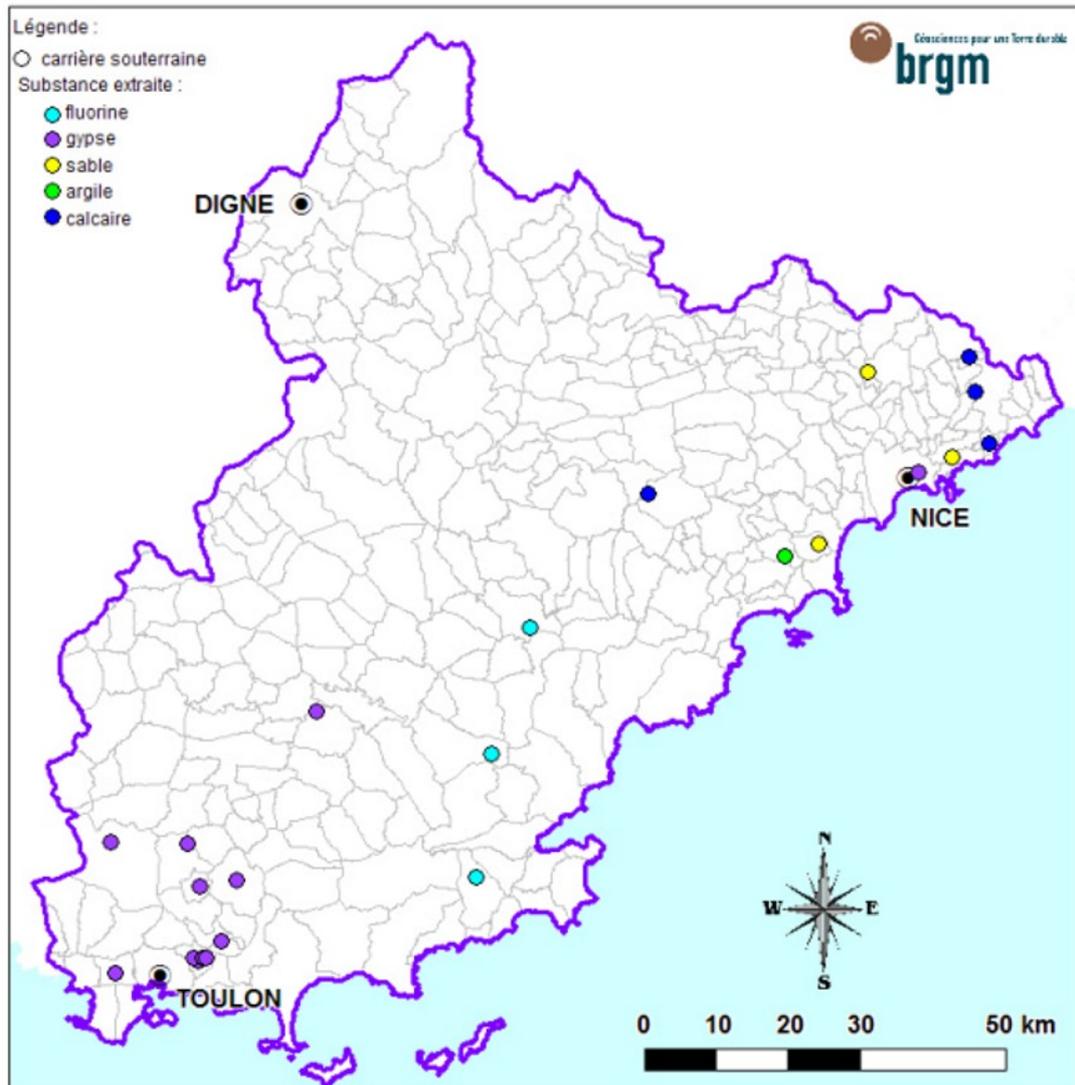


Illustration 10 : Localisation des carrières souterraines ou mixtes (exploitation souterraine et à ciel ouvert) sur la Provence cristalline (extrait de BD Carol, [www.carol.brgm.fr](http://www.carol.brgm.fr))

Les substances extraites sont :

- du gypse, utilisé pour la fabrication du plâtre. Les carrières d'extraction sont localisées pour la majorité d'entre elles au nord de Toulon (Méounes, La Valette...), mais on en trouve également une à Nice (Saint-Cimiez). Le gypse extrait est issu des formations hétérogènes du Trias : argiles, gypses, dolomies, cargneules ;
- du sable : les sables rouges argileux de l'Eocène sont à Biot (Alpes-Maritimes) et Brenon (Var) et sont extraits pour diverses utilisations (couverture des terrains de tennis notamment) ;

- du calcaire : le calcaire dolomitique du Jurassique est principalement exploité en carrières à ciel ouvert, mais on recense quelques galeries d'exploitation souterraine dans les Alpes-Maritimes. Les matériaux sont extraits pour la construction ;
- des argiles : les argiles bathoniennes sont extraites à Valbonne (Alpes-Maritimes) pour la fabrication de poteries (poteries de Vallauris) ;
- de la fluorine : espèce minérale exploitée en carrière souterraine dans les formations métamorphiques. On trouve ces carrières dans le Dracenois et dans le Golfe de Saint-Tropez. A noter que la fluorine n'est pas définie comme un minerai dans le code minier, son exploitation se fait donc en carrière et non en mine.

### 3.1.2. Données concernant les mouvements de terrain

#### **Source de données**

Les évènements « mouvements de terrain » collectés au cours de l'étude sont issus de différentes sources :

- **Service de Restauration des Terrains de Montagne** (Services RTM de l'ONF) : sont présents sur chacun 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](http://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'Equipement 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 en compagnie 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. À la demande de la Préfecture, le BRGM s'est rendu sur place pour évaluer leur caractère exceptionnel<sup>5</sup>. Ces événements ont également été intégrés à la collecte.

Ce sont en tout 1 121 événements « mouvements de terrain » qui ont été collectés au cours de l'étude (Illustration 11). Cette liste, non exhaustive, apporte cependant un bon aperçu des principaux mouvements se produisant sur la zone. La précision sur la localisation des données est assez bonne, puisque près de 53 % des événements sont localisés avec une précision de l'ordre de la dizaine de mètres. 27 % sont localisés à plus ou moins 100 m, les 20 % restant le sont avec une précision kilométrique. Ces derniers sont principalement des événements anciens mal renseignés et non discernables dans le paysage.

Origine des données	Nombre d'évènements collectés
Base de données nationale BD mvt	646
ONF, services RTM (04, 06)	193
Conseils Généraux (04, 06, 83)	123
Bibliographie (coupures de journaux, internet, rapports BRGM...)	70
CETE	60
Observations terrain	22
Mairies Var	5
DREAL	2
<i>TOTAL</i>	1 121

*Illustration 11 : Tableau récapitulatif des différentes sources de données et du nombre d'évènements collectés*

### **Analyse des données**

A partir de cet inventaire, des visites de terrain ont été organisées afin d'examiner le contexte de chaque événement -géologique, géomorphologique et hydrologique. Elles ont également permis de repérer des indices d'instabilité visibles à l'affleurement tels que des cicatrices d'arrachement indiquant la tête d'un glissement passé, des pentes irrégulières (« moutonnée ») indiquant un mouvement lent de la formation, des fractures visibles sur massif rocheux...L'inventaire complété des visites terrain a permis de définir une typologie détaillée des différents événements mouvements de terrain se produisant sur la zone (cf. §3.2) et d'identifier les formations géologiques concernées par ces événements.

Cinq types principaux de mouvements de terrain ont été distingués (

---

<sup>5</sup> Marçot, 2010

Illustration 12) :

- les **glissements de terrain** : 544 évènements recensés (49 % des cas) ;
- les **chutes de blocs** et éboulements rocheux : 405 évènements (36 % des cas) ;
- les **coulées** de boue et charriages torrentiels c'est-à-dire les « coulées » s.l. : 60 évènements (5 % des cas) ;
- les **effondrements** : 96 évènements (9 % des cas) ;
- les **ravinements** : 16 évènements ( 1 % des cas).

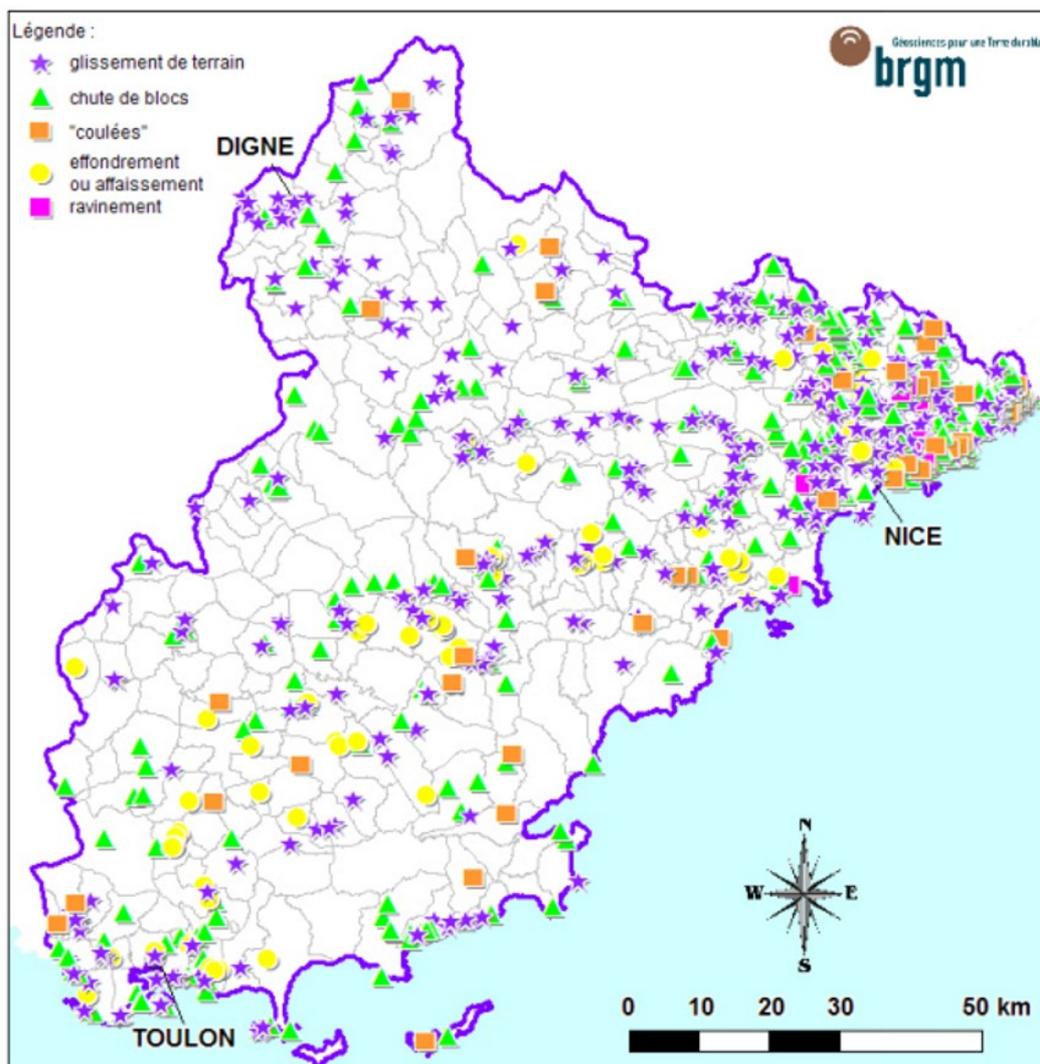


Illustration 12 : Localisation des mouvements de terrain recensés sur la zone d'étude

La carte de l'illustration 13 représente le nombre d'évènements mouvements de terrain recensés par bassin de risque au cours de l'étude.

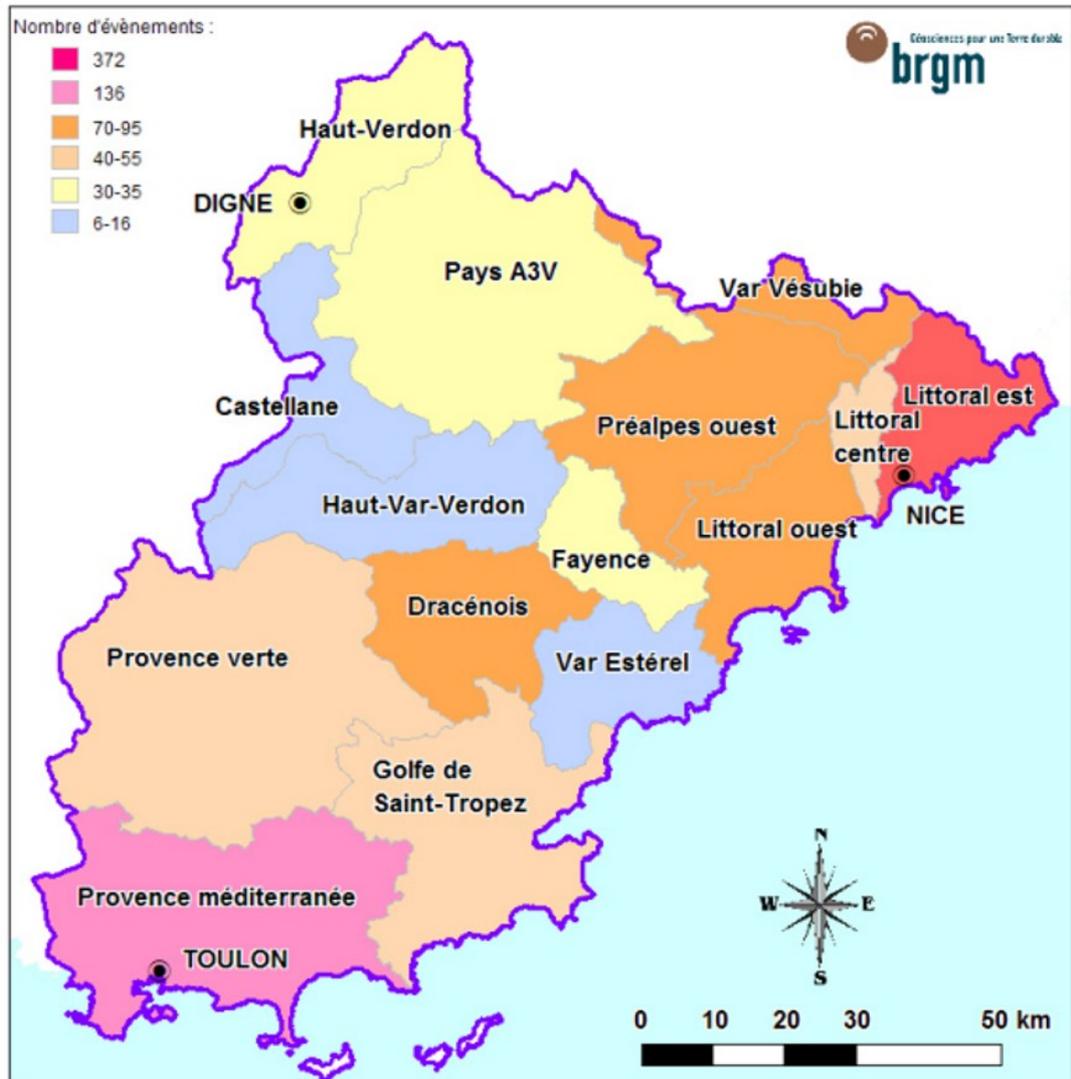


Illustration 13 : Nombre d'événements recensés par bassin de risque

Le bassin de risque du Littoral Est est de loin celui où l'on recense le plus d'événements mouvements de terrain (372 événements recensés). Il s'agit principalement de glissements de terrain (195) et de chutes de blocs (121). Les glissements sont localisés pour la plupart dans les formations sableuses et marneuses altérées de l'Eocène affleurant au nord de Menton et aux alentours de Contes. Les chutes de blocs se produisent dans les formations marno-calcaires et calcaires du Crétacé et Jurassique qui forment des falaises escarpées le long du littoral. Quelques effondrements sont recensés sur la colline de Saint-Cimiez à Nice, où affleurent les formations gypseuses du Trias.

En Provence Méditerranée les mouvements de terrain sont localisés principalement le long du littoral. C'est le cas des glissements qui se produisent dans les formations de couverture issues de l'altération des roches métamorphiques sous-jacentes

(glissements du Cap Brun à Toulon par exemple). Les falaises rocheuses du littoral sont également soumises aux chutes de blocs. Près de 20 % des événements affaissements et effondrements recensés sur la Provence cristalline concernent la Provence Méditerranée. Ils sont localisés majoritairement sur les zones d'affleurement du gypse qui fût exploité par le passé en carrière souterraine pour la fabrication de plâtre (Méounes-lès-Montrieux, La Valette-du-Var).

Dans la zone des Préalpes ouest, constituées par des successions régulières de montagnes séparées par de larges vallées, on recense 95 événements mouvements de terrain. Les glissements, qui sont majoritaires (51), sont de petite envergure, et ont lieu principalement dans les formations marneuses du Crétacé supérieur. Les chutes de blocs affectent les bancs calcaires du Crétacé et du Jurassique, et se concentrent dans les gorges étroites creusées par les cours d'eau : Gorges du Loup, Clue de Saint-Auban.

Le Littoral ouest est concerné par les mouvements de terrain de type glissement et chutes de blocs. Les glissements de terrain localisés à l'est dans les éboulis et marnes miocènes prennent naissance sur des terrains de pente moyenne soumis à des circulations d'eau souterraine (Vence, Cagnes-sur-Mer). Au nord ouest, les terrains argileux et gypsifères du Trias recouverts par des éboulis constituent un contexte favorable à l'apparition de glissements (Grasse). Les éboulements ont lieu au pied des puissantes falaises jurassiques (Baou des Blancs, Baou de Saint-Jeannet, Baou des Noirs). La présence de terrains gypsifères sur ce bassin de risque est aussi à l'origine de l'apparition de quelques effondrements.

22 % des effondrements et affaissements recensés sur la Provence cristalline sont localisés sur le Dracénois. Ces mouvements de terrain sont dus à la présence de gypse dans le sous-sol, minéral sensible à la dissolution induite par les circulations d'eau. Les cavités souterraines formées par la dissolution du gypse en profondeur peuvent évoluer jusqu'en surface de manière régressive et provoquer des fontis. La déstabilisation des terrains peut également donner lieu à des glissements de terrains. Les gorges de Châteaudouble, particulièrement escarpées sont le lieu d'éboulements fréquents.

La partie du bassin de risque du Var-Vésubie contenue dans la Provence cristalline inclut les gorges de la Vésubie et les gorges de la Mescla. Ces gorges très étroites sont formées de falaises calcaires massives incisées par les rivières du Var et de la Vésubie. Les chutes de blocs et éboulements sont fréquents le long de ces parois rocheuses.

Le Littoral centre est en grande partie couvert par les poudingues sableux du Pliocène. Ces poudingues sont souvent recouverts de limons qui les ravinent. Leur épaisseur peut aller jusqu'à 10 mètres. Cette formation meuble est le siège de nombreux glissements. Les glissements recensés sur le Littoral centre sont également localisés sur les marnes bleues du Miocène. La présence de terrains gypseux, au nord, est à l'origine des plusieurs effondrements (9).

Le nombre d'évènements mouvements de terrain sur la Provence verte est limité comparativement aux autres bassins de risque : seulement 49 recensés sur une surface de plus de 1 500 km<sup>2</sup>. Les chutes de blocs qui sont les plus nombreuses (23 évènements) se produisent le long de talus rocheux de hauteur ne dépassant pas la dizaine de mètres.

Les évènements recensés sur le Golfe de Saint-Tropez sont concentrés principalement sur la route du littoral. Les affleurements de roches métamorphiques souvent altérées sont particulièrement sensibles aux instabilités gravitaires (chutes de blocs et glissements de terrain).

Le territoire du Pays A3V a fait l'objet d'une cartographie de l'aléa mouvement de terrain mené par les services RTM dans le cadre d'une approche multirisque<sup>6</sup>. Les évènements recensés sont principalement des glissements de terrain qui se produisent dans les formations meubles du Quaternaire (moraines, éboulis), les marnes noires du Jurassique, les molasses sablo-argileuse du Crétacé et du Tertiaire ou encore les terrains gypsifères du Trias. Les puissantes falaises du Jurassique sont à l'origine de chutes de pierres et éboulements.

Le territoire du Haut-Verdon inclu en partie dans la Provence cristalline est principalement soumis aux glissements de terrain. Ceux-ci sont pour la plupart recensés dans la région de Digne. Ils peuvent être de grande ampleur lorsque le contexte géomorphologique est favorable. C'est le cas par exemple du glissement du Villard-des-Dourbes à l'est de Digne (formations colluvionnaires couvrant les terres noires du Jurassique et écoulements souterrains à l'interface des deux formations).

Sur le bassin de Fayence on dénombre 30 évènements. Ce sont pour la plupart des glissements de terrain qui se produisent à l'est, dans les niveaux altérés des gneiss, sur de fortes pentes, et plus à l'ouest dans les formations gypseuses et argileuses du Trias. Ces dernières peuvent également donner naissance à des cavités souterraines formées par la dissolution du gypse. Ces cavités peuvent évoluer jusqu'à l'effondrement en surface, comme ce fut le cas par exemple pour l'effondrement spectaculaire de Tourrettes à la fin des années 80.

Le bassin de Castellane, compris en partie dans la Provence cristalline, est le siège principalement de chutes de blocs et d'éboulements qui se produisent dans les gorges escarpées du Verdon.

Les territoires du Haut-Var-Verdon et du Var-Estérel sont moins concernés par la problématique des mouvements de terrains. On recense 15 évènements mouvements de terrain dans le Haut-Var-Verdon et seulement 6 évènements dans le Var-Estérel. Ces évènements étant d'autre part de dimensions très modestes, principalement des glissements de talus.

---

<sup>6</sup> Marçot N. et al. (2010)

### 3.2. TYPOLOGIE DÉTAILLÉE

Les principaux types de mouvements de terrain recensés sur la zone d'étude sont présentés sous la forme de fiches qui font l'objet des pages suivantes :

- **Glissements de terrain**
  - ⇒ Glissement superficiel
  - ⇒ Glissement-coulée
  - ⇒ Glissement rotationnel
  - ⇒ Glissement mixte
- **Instabilités rocheuses**
  - ⇒ Chutes de pierres et blocs
  - ⇒ Éboulements
- **« Coulées »**
- **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 matériau sablo-argileux issus de l'altération des grès d'Annot sous-jacents). 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.

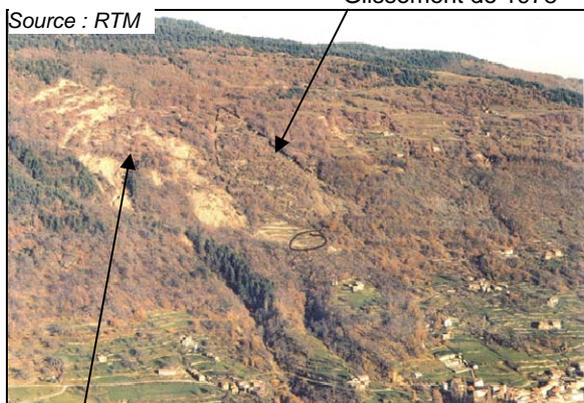
Facteur aggravant : présence d'un cours d'eau en pied de pente, déforestation.

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

Source : RTM



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

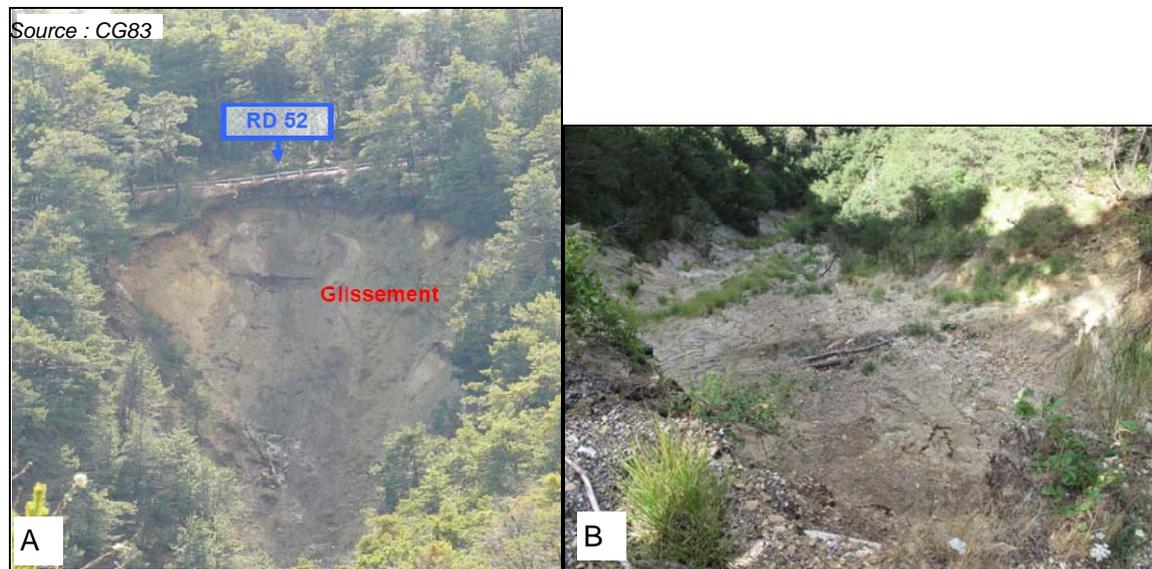


Glissement dans la frange altérée des grés glauconieux Crétacé supérieur. L'évènement s'est produit dans les années 1970 sur la commune de Châteauvieux (Var). Plusieurs milliers de mètre cubes sont entrés en mouvement. Le tracé de la RN85 a du être dévié. Photo A : route actuelle et zone de départ du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

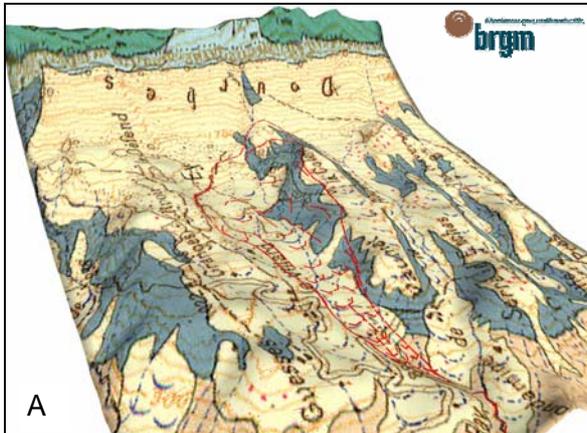
Facteur aggravant :

- 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 Dourbes, 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 enregistre 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. 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. Glissement de terrain

### I. 4. Glissement mixte : glissement/coulée

Ce type de glissement est l'association de glissements superficiels qui évoluent en coulées boueuses. Le glissement prend naissance dans des formations meubles de couverture perméables couvrant un substratum plus induré (exemple : colluvions sableux 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 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 : recouvrement de formations meubles sur forte pente.

Facteur déclenchant :

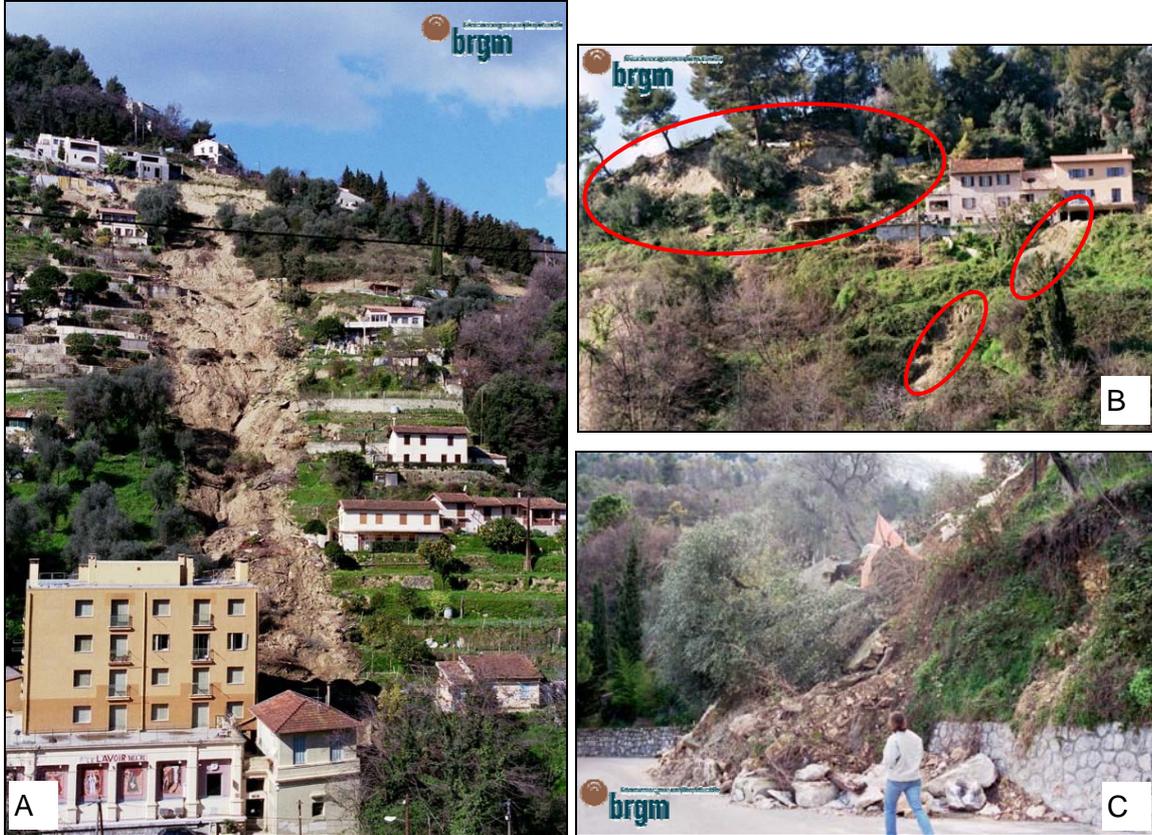
- concentration d'eau de ruissellement,
- modification du profil de pente d'origine naturelle,
- modification du profil de pente par travaux : déblai routier.

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 altéré (dépôts sableux) affleure sur de fortes pentes, les glissements/coulées 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 se produit cette fois-ci dans 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, au sud de Gorbio et de Sainte-Agnès (Alpes-Maritimes). Pour cause, 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 furent recensés, provoquant de nombreux dégâts sur les constructions et infrastructures routières. Ce type d'évènements 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, à la rupture de pente.

#### 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...).

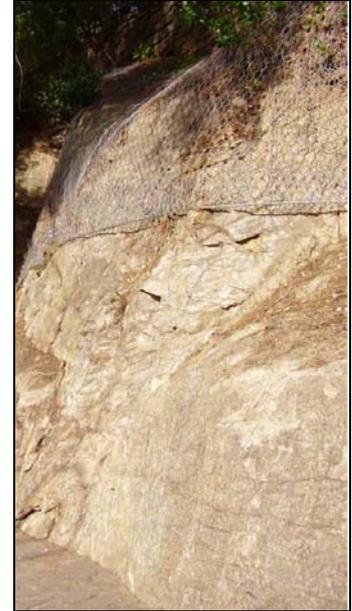
Facteurs déclenchant le phénomène :

- 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 sismique ou anthropique.

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 CG 83).



Chute de 2 blocs dans les grès sablo-marneux du Miocène sur la commune de Digne en 2005 (source RTM04). Cette formation hétérogène présente des bancs franchement gréseux alternant avec des bancs sablo-marneux. Ces derniers sont plus sensibles à l'altération, et les bancs de grès peuvent se retrouver sous-cavés = la couche meuble sous-jacente est creusée et le banc se retrouve en suspens. Leur chute peut alors se produire.

## 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  $\text{dm}^3$  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  $\text{dm}^3$  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 dans les calcaires gris à gros bancs du Cétacé en avril 2009 (Prads-de-Haute-Bléone, Alpes de Haute-Provence, source CG04). Le pendage des bancs calcaires est parallèle à la pente ce qui favorise les chutes de blocs par glissement banc sur banc.

## II. 2. Éboulements

Les éboulements sont des phénomènes de grande ampleur qui impliquent des volumes rocheux importants (volume total éboulé supérieur à 100 m<sup>3</sup>).

Ces chutes 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 de 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 :

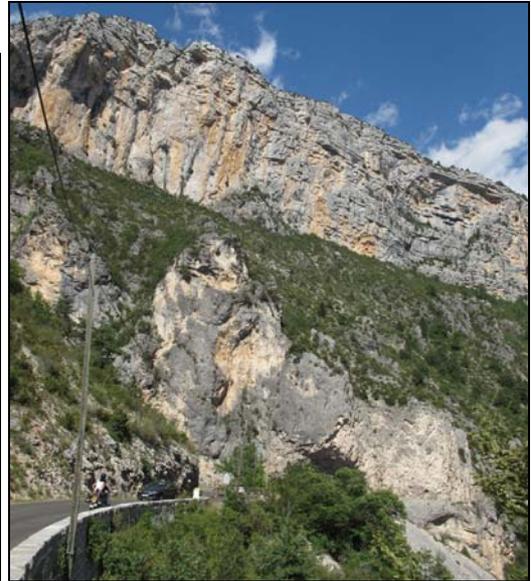
- conditions climatiques : gel-dégel, fortes précipitations ;
- secousses sismiques ou anthropiques.

Facteurs aggravant le phénomène de propagation des blocs éboulés :

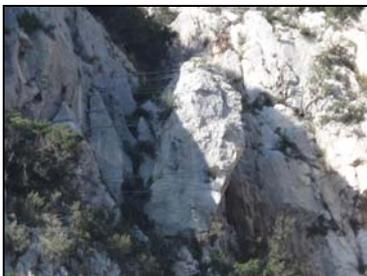
- la forme des blocs : si les blocs sont de forme relativement plane, ceux-ci auront tendance à s'arrêter rapidement selon une de leur face en raison des frottements forts (dans certains cas ils peuvent cependant se mettre sur la tranche et se propager loin). Si au contraire les blocs sont de forme arrondie, 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.

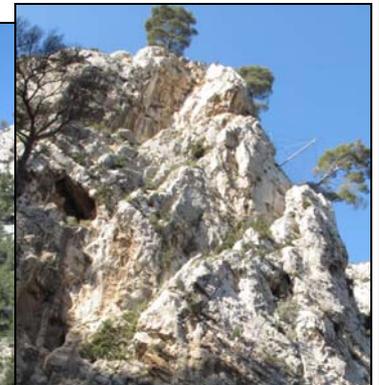
## II. 2. Éboulements



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 emmaillotée*



Les falaises calcaires formant les gorges d'Ollioules sont soumises aux instabilités rocheuses et menacent directement la route qui passe en pied. Fin 2006 une écaille rocheuse volumineuse 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



La rivière de la Nartuby a creusée d'imposantes falaises dans les calcaires dolomitiques du Jurassique au niveau de la commune de Châteaudouble (Var). En novembre 2000, ce sont près de 200 m<sup>3</sup> de blocs rocheux qui se sont détachés de la falaise endommageant directement la route d'accès à Châteaudouble. Plus récemment, des travaux de confortement ont été réalisés par le Conseil Général sur une écaille rocheuse de 450 m<sup>3</sup> qui risquait de se détacher de la paroi rocheuse. (source CG83)



### Après l'éboulement, la voie sur berge à double sens



Le filet de protection n'a pas résisté à la puissance de l'éboulement.

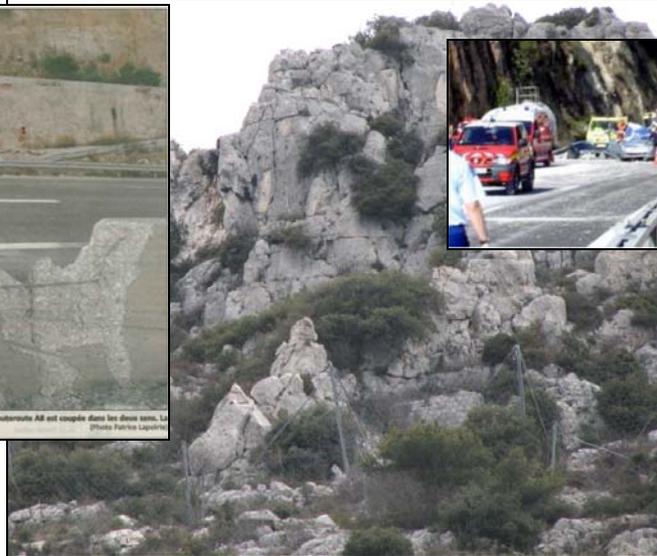
source Nice Matin, nov.2005

Le Var a taillé des gorges très étroites dans les calcaires du Jurassique au niveau des communes d'Utelle et de Malaussène dans les Alpes-Maritimes (gorges de la Mescla). Les instabilités rocheuses sont très fréquentes et occasionnent régulièrement des perturbations sur la RD6202 qui longe les falaises. En novembre 2005, ce sont près de 400 m<sup>3</sup> de rochers qui se sont éboulés sur la chaussée, suivis par un second évènement en décembre qui mobilisa 300 m<sup>3</sup> de blocs rocheux. La route, fortement endommagée, fut fermée plusieurs jours.

## II. 2. Éboulements

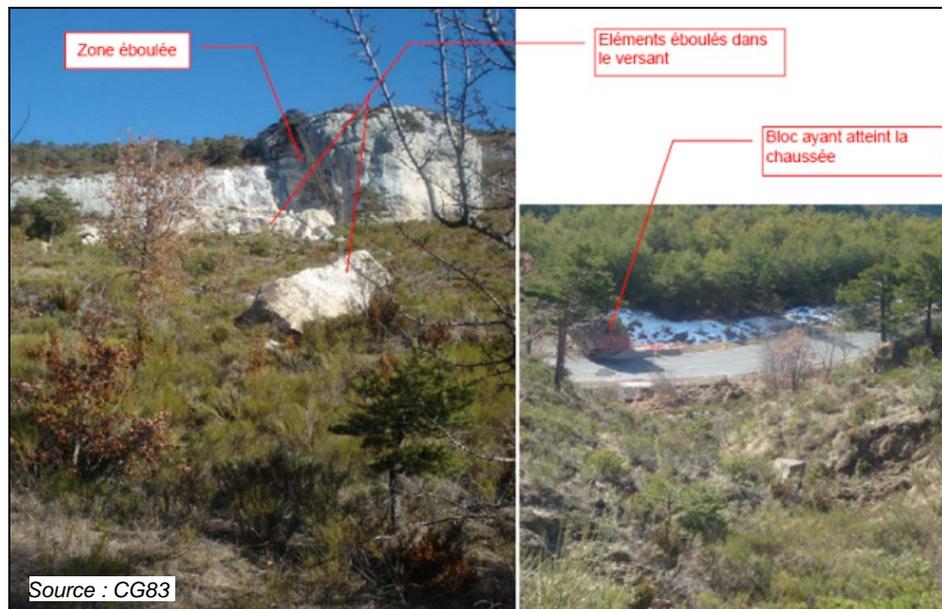


Evènement de 2008 -  
source Nice Matin



Evènement de 2005 -  
source CETE

Sur l'A8 au-dessus de Beausoleil affleurent 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 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> 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).

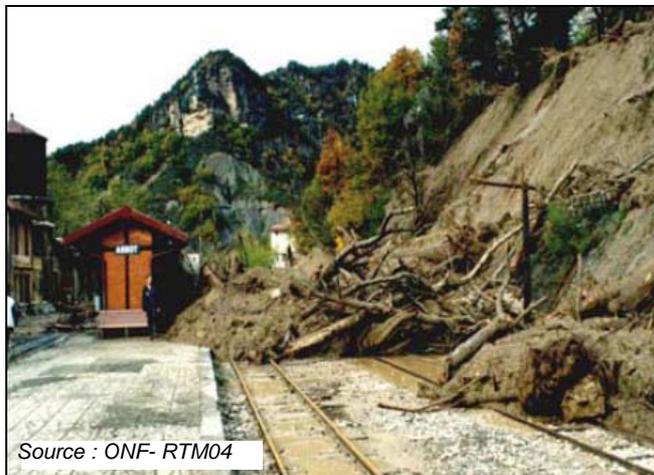
#### Facteurs déclenchant le phénomène

- 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 m<sup>3</sup> de boue envahirent plusieurs quartiers situés en aval ainsi que la gare. Cet événement 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, pierres et végétation qui se sont répandues 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.



Coulées de boue à Tanneron en février 1996 (source BDMVT). Suite à de fortes pluies, les formations superficielles composées des produits d'altération des gneiss (sable argileux), se sont gorgées d'eau et les talus routiers ont été déstabilisés. Les matériaux boueux se sont répandus sur plusieurs dizaines de mètres sur la chaussée. Les photos présentées ici sont prises lors d'une visite terrain en novembre 2010 après un court épisode pluvieux. Ces illustrations permettent de caractériser ces formations meubles superficielles et montrent bien la sensibilité de ces faciès aux phénomènes de glissement de talus et coulées.

### III « Coulées »



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).

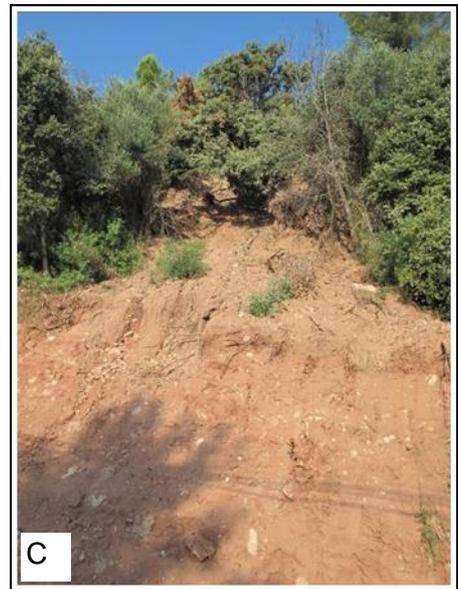
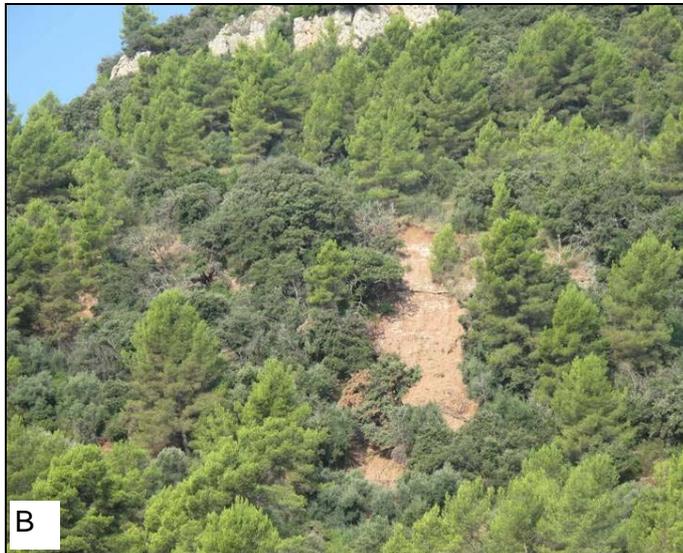


Figures de ravinement dans les grès rouges du Permien observées sur la commune des Arcs (Var) après les intempéries de juin 2010 (observation terrain le 2 juillet 2010). Le versant en pente très raide est régulièrement soumis à des instabilités gravitaires de ce type ou à des glissements de terrain, lors d'épisodes pluvieux. Ce fut par exemple le cas en janvier 1995 où la chaussée fut recouverte de matériau sur près de 50 m de long.

### 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 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'où 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 détermine 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 prédisposition<sup>7</sup> :

- 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 ;

---

<sup>7</sup> 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 canalsation, etc.)

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

Sur la Provence cristalline, on dénombre 96 évènements 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'évènements 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, cargneule, 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, 2001). Sur ce même site, des effondrements de type fontis sont recensés.

## IV.2 Fontis

### MÉOUNES : LE CRATÈRE 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<sup>er</sup> 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 l'abîme 1,20 m de diamètre, puis enfin s'ouvrir en un véritable cratère de 5 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 50 tonnes de matériaux pour le boucher, il était toujours aussi profond.

**S**UR le terrain, la circulation bien sûr est déviée à l'entrée de Méounes. Et une signalisation spéciale placée 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 Cuers, 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 Durand)

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, 2001).



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 triasiques affleurent largement sur les flancs des coteaux au nord de Draguignan. Ces terrains sont soumis au phénomène de dissolution du gypse qui peut donner naissance à des cavités souterraines. Le quartier de La Clappe est particulièrement frappé par les événements de type effondrement : 1976, 1998, et d'autres événements plus anciens non datés. Photos prises lors d'une visite terrain en 2001 (Des Garets, 2001). Photo de gauche : effondrement associé à un glissement de terrain, les failles en escalier surlignées en tireté rouge, témoigne de l'activité 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

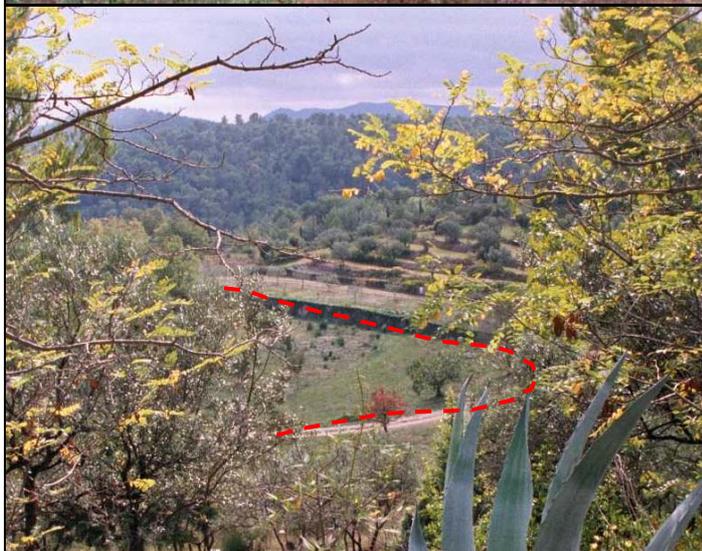


Effondrement de 80 m de diamètre et de 15 m de profondeur à Bargemon (Var) le 22 août 1992. L'effondrement s'est produit dans les formations gypseuses triasiques. Cinq ans plus tôt, le 27 décembre 1987, un effondrement de 50 m de profondeur se produisit à l'est sur la commune de Tourrettes (Var). A gauche : 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 2001 lors d'une visite terrain).

### IV.3 Effondrement généralisé



Traces d'anciens effondrements de grande ampleur à Seillans (Var). Ces évènements 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 2001 (Des Garets, 2001). 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 (Des Garets, 2002).

## 4. Démarche méthodologique

### 4.1. INVENTAIRE ET VALORISATION DES DONNÉES EXISTANTES

#### 4.1.1. Administratif et hydrographique

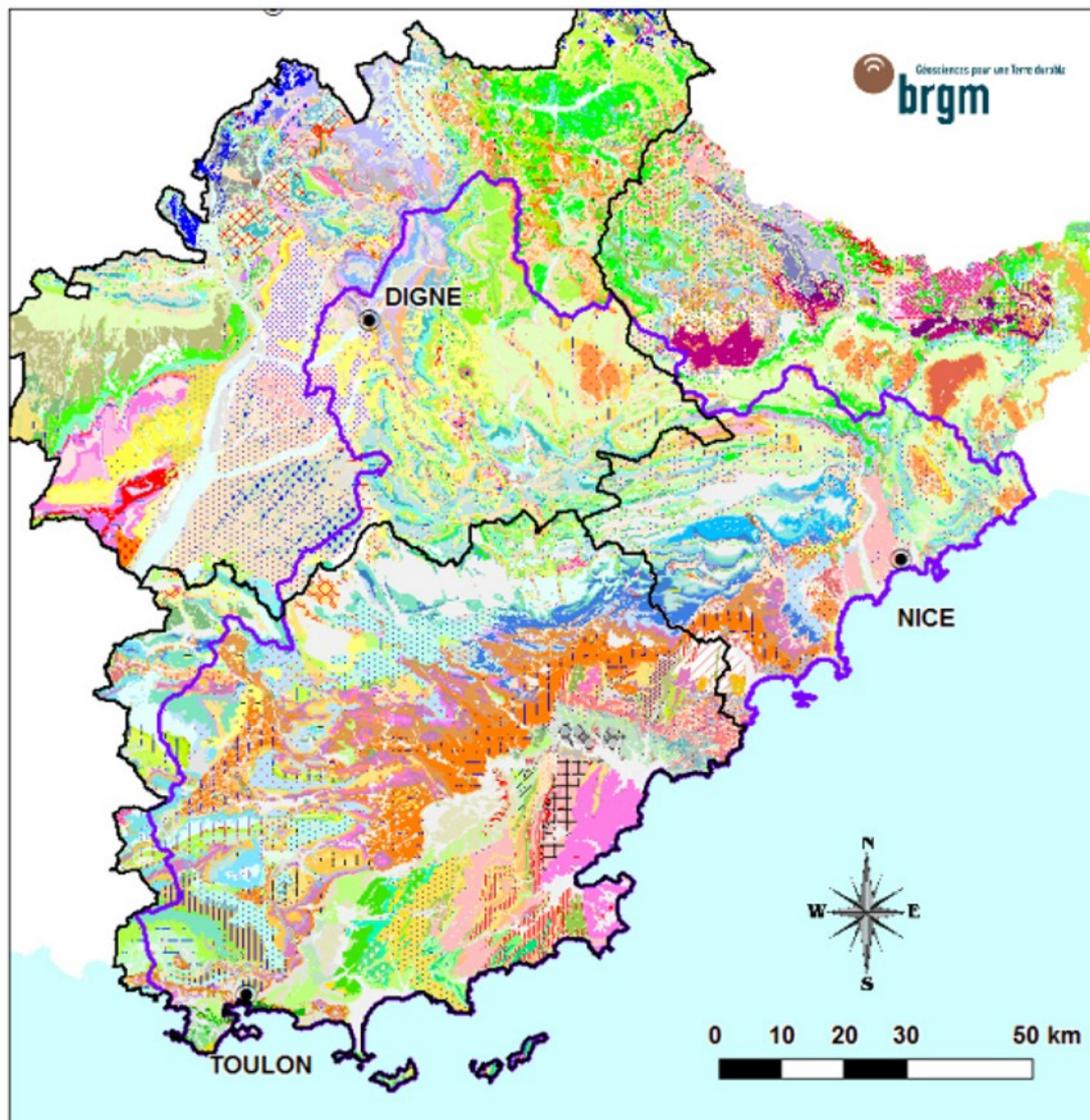
Les données de base utilisées en tant que fond cartographique sont :

- Les scans 25 et 100 de l'IGN : carte topographique de l'IGN scannée.
- La BD Carto de l'IGN base de données contenant les entités cartographiques issues de la vectorisation de la carte au 1/50 000 et d'images satellitaires SPOT. Elle apporte des informations sur les unités administratives, l'occupation des sols, le réseau routier, etc. La précision des données est décimétrique, cette base de données constitue un fonds de référence relativement précis et homogène.
- La BD Cartage de l'Agence de l'Eau fournit les données sur le réseau hydrographique, les cours d'eau et les bassins versants.

#### 4.1.2. Géologie

Les cartes géologiques disponibles et utilisées dans le cadre de l'étude, sont les feuilles géologiques levées au 1/50 000 qui existent sous format papier et numérique (format vecteur et scan).

D'autre part, dans le cadre de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement menée par le BRGM pour le Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement (MEDDTL), les cartes géologiques au 1/50 000 ont été assemblées et harmonisées sur les trois départements concernés par la zone (Alpes de Haute-Provence, Alpes-Maritimes et Var) (Illustration 14).

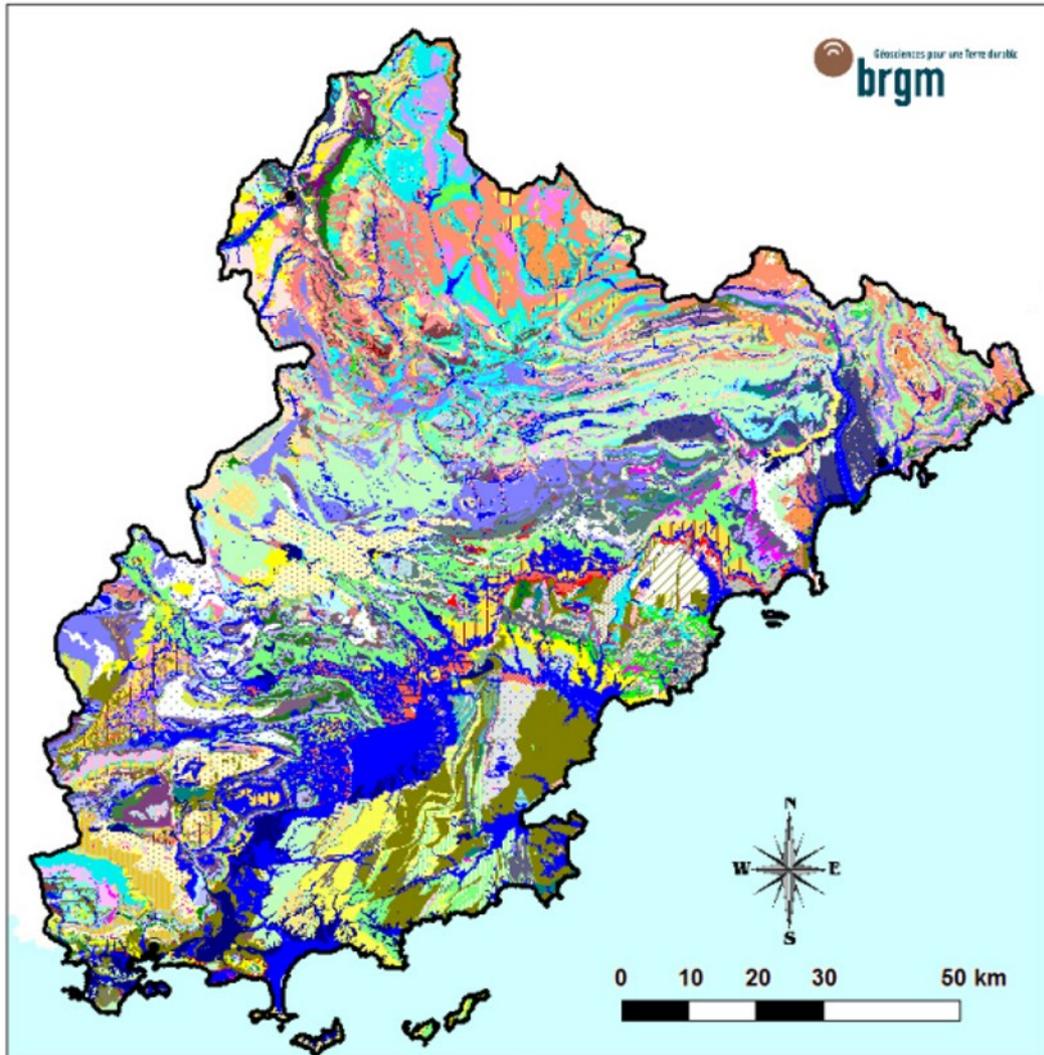


*Illustration 14 : Assemblage des cartes géologiques numériques au 1/50 000 sur la Provence cristalline*

Afin d'obtenir une carte des formations géologiques, homogène sur la zone d'étude, un travail d'harmonisation des contours des formations a été réalisé sur les limites départementales des cartes géologiques. Ce travail s'est effectué en deux étapes :

1. Homogénéisation des formations aux limites des cartes géologiques départementales : à partir des cartes déjà existantes sur les départements des Alpes-Maritimes, Alpes de Haute-Provence et sur le Var. A cette étape on dispose d'une carte géologique de la Provence cristalline avec 713 formations ;
2. Réalisation d'une carte synthétique des principales formations géologiques de la zone : regroupement des formations à partir de leur âge (stratigraphie) et de

leur composition (lithologie). La carte finale obtenue présente 316 formations géologiques – ou groupe de formations - affleurant sur la Provence cristalline (Illustration 15).



*Illustration 15 : Carte finale des formations géologiques obtenue après regroupement des formations selon des critères stratigraphique et lithologique*

#### **4.1.3. Morphologie**

##### ***Données utilisées***

La BD Alti éditée par l'IGN conserve sous forme de données vectorielles les courbes de niveau et les points cotés pour chaque département. Les courbes de niveau sont espacées verticalement de 50 m. Le modèle numérique de terrain (MNT) au pas de

50 m fourni par l'IGN et couvrant la zone étudiée, a également été utilisé, notamment pour l'évaluation des pentes topographiques.

La BD Ortho est une base de données composée des orthophotographies numériques disponibles sur chaque département. Les scans IGN départementaux à l'échelle du 1/25 000 complétés par les orthophotographies ont été utilisés pour délimiter les falaises rocheuses.

### Valorisation

- Carte des pentes

A partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m, les cartes des pentes et leurs directions ont été tracées (Illustration 16). Ces cartes sont utilisées pour déterminer les zones potentiellement exposées aux glissements de terrain, chutes de blocs, éboulements et coulées.

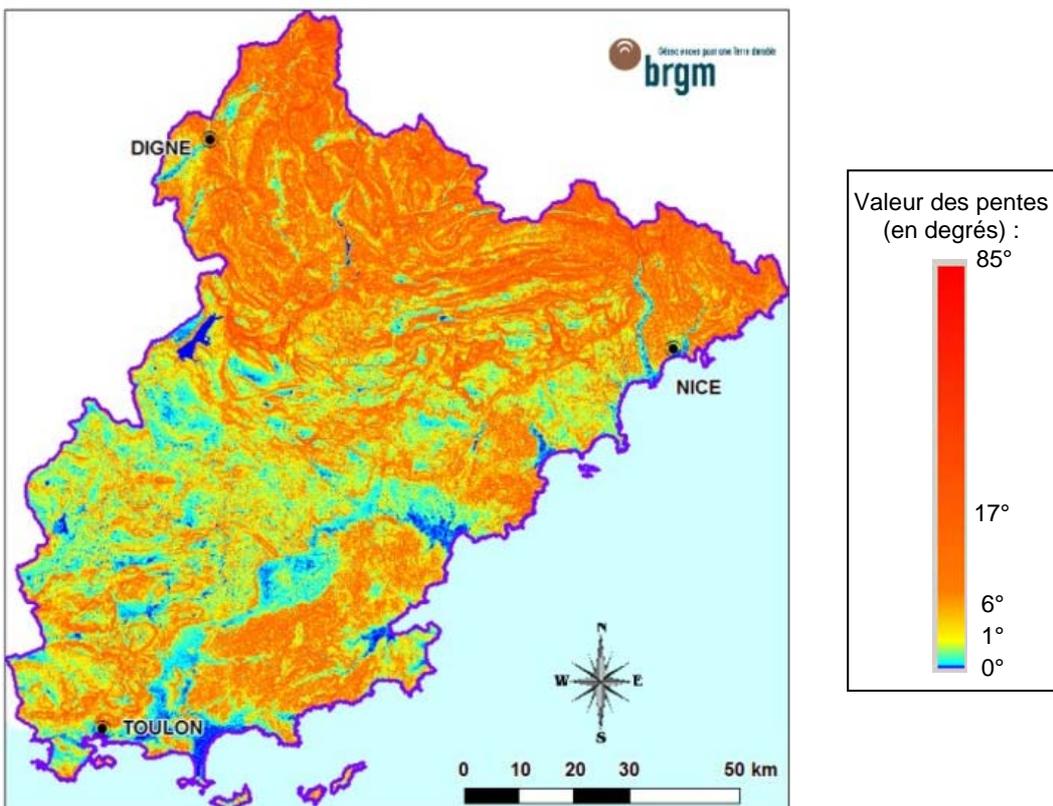


Illustration 16 : Cartes des pentes calculées à partir du MNT de l'IGN au pas de 50m

- Digitalisation des barres rocheuses

Les barres rocheuses ont été digitalisées à l'aide des orthophotos et du Scan 25 de l'IGN (Illustration 17). Ce sont des zones potentielles de départs de pierres et/ou de blocs, de manière unitaire, ou en grande masse (éboulement).

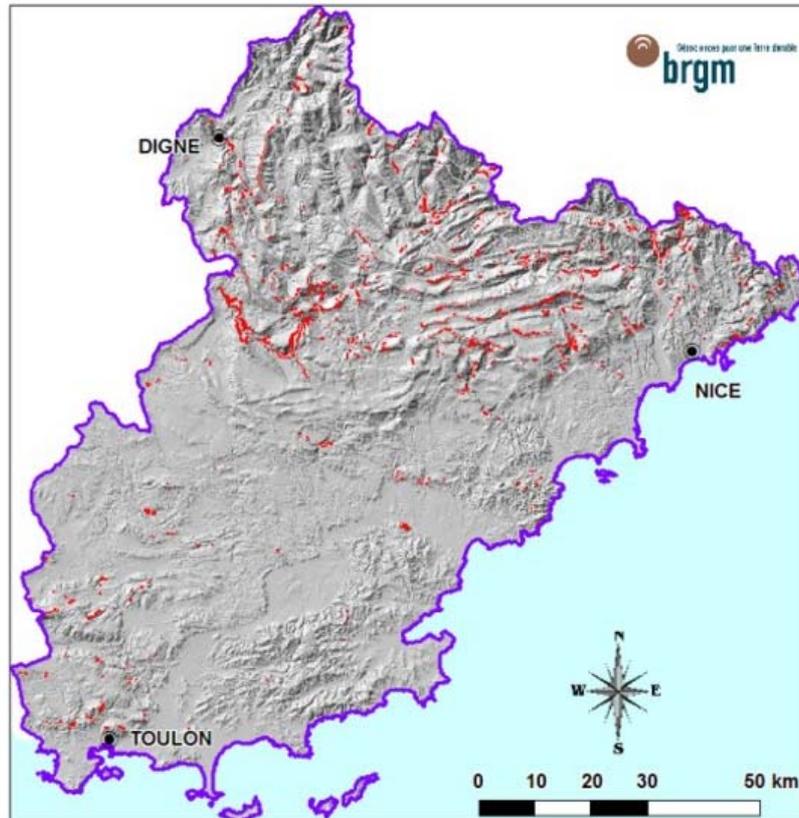


Illustration 17 : Carte des barres rocheuses (en rouge) digitalisées à partir des Scan 25 IGN et des orthophotos de l'IGN

#### - Modèle de drainage

La présence d'un talweg influe sur la stabilité des terrains, notamment en période de pluie. En effet, les talwegs sont le lieu de concentration des eaux d'écoulements qui peuvent mobiliser les matériaux déstructurés. Dans l'objectif de localiser les lieux de concentration des eaux d'écoulement, un modèle de drainage a été réalisé sous ArcGis à partir du MNT au pas de 50 m et de la carte des directions des pentes. Le modèle de drainage donne en chacune de ses mailles la surface du bassin versant associé.

#### 4.1.4. Occupation du sol

Les données d'occupation du sol sont issues de la base de données géographiques CORINE Land Cover (Ifen, 2000). Elle a été réalisée à l'échelle 1/100 000 à partir

d'images satellitaires de l'année 2000. Le travail a consisté à extraire de la base l'occupation du sol régionale et à en synthétiser les données (Illustration 18).

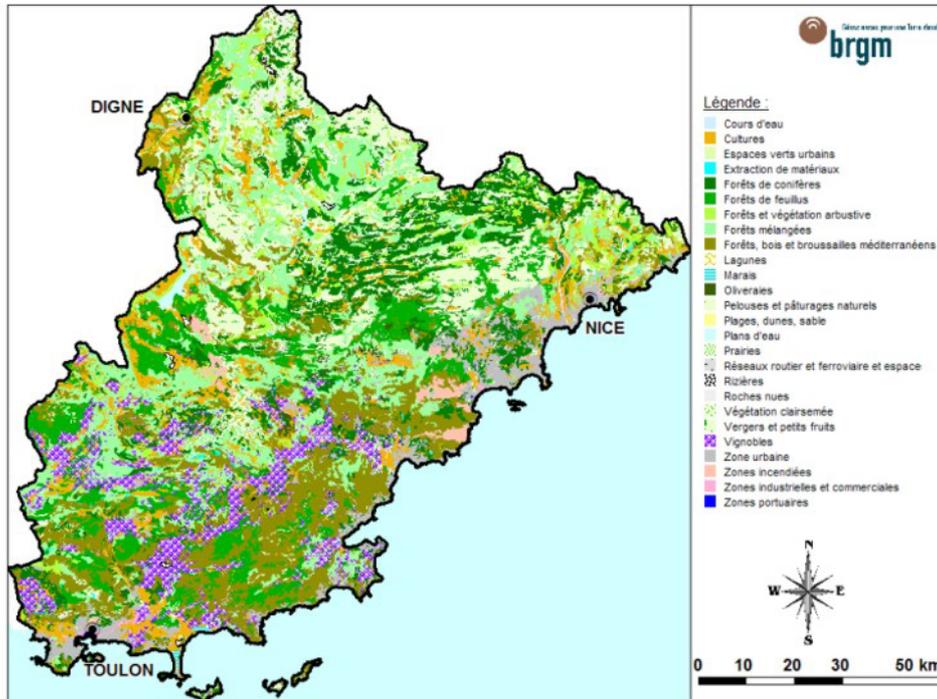


Illustration 18 : Occupation des sols simplifiée (CORINE LAND COVER®)

Les données d'occupation du sol synthétisées et structurées sur l'ensemble de la région n'ont pas été valorisées dans le cadre de ce projet mais pourraient sans doute l'être dans le cadre de développements futurs avec des échelles de cartographie plus grandes. Ces valorisations pourraient sans doute porter sur une meilleure perception des aléas en fonction de l'occupation du sol (zones de forêts ou zones dénudées) ou sur une pré-analyse de risque (zones urbanisées, infrastructures).

#### 4.1.5. Précipitations

Lors de la précédente étude qui avait pour objet la cartographie de l'aléa mouvements de terrain sur la zone alpine<sup>8</sup>, les données de précipitations (données décennales en mm/10j) ont été collectées et utilisées afin de mettre évidence un lien éventuel entre les précipitations et les mouvements de terrain observés à l'échelle régionale. Il est apparu qu'à cette échelle (échelle régionale), il est très difficile d'établir un lien significatif entre l'occurrence des mouvements de terrain et les précipitations exprimées aussi bien en termes de hauteur moyenne annuelle que sous forme

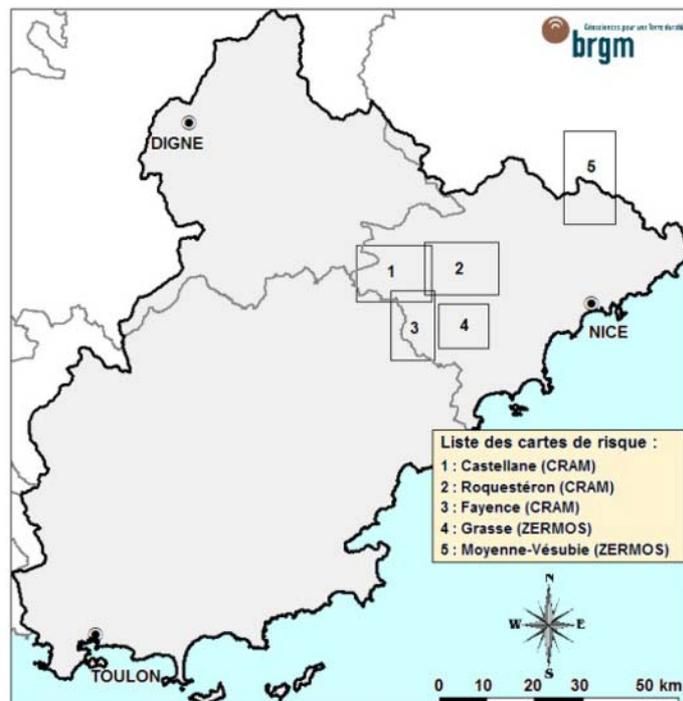
<sup>8</sup> Rivet et al. (2009)

d'intensité (exprimée en précipitations décennales moyennes). Aussi, les données pluviométriques n'ont pas été utilisées pour l'étude de la Provence cristalline.

#### 4.1.6. Aléa mouvements de terrain

##### **Cartes des Risques des Alpes-Maritimes (CRAM) et cartes ZERMOS**

Dans les années 70-80, à la demande du ministère de l'Environnement, des cartes de risques mouvements de terrain ont été réalisées sur plusieurs bassins de risques de montagne ou moyenne montagne de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur : cartes ZERMOS (cartes des zones exposées à des risque mouvements de terrain) et cartes CRAM (cartes de risques des Alpes-Maritimes). Ces cartes représentent les zones exposées à des risques liés aux mouvements de terrain du sol et du sous-sol. Sur la Provence cristalline, 5 de ces cartes ont été utilisées (Illustration 19).



*Illustration 19 : Localisation des cartes de risque utilisées sur la Provence cristalline*

Ces cartes ont été réalisées dans un but opérationnel de gestion des risques liés aux mouvements de terrain sur un bassin à risque donné. L'échelle de réalisation est incompatible avec l'échelle utilisée ici pour la cartographie régionale dont l'objectif principal est d'informer sur le risque. Cependant, les notices de ces cartes contiennent des informations détaillées sur la nature des terrains et leur comportement vis-à-vis des instabilités gravitaires. De la même façon que sur la zone alpine, ces informations ont été valorisées dans le cadre de la présente étude afin de caractériser les formations en termes de sensibilité aux mouvements de terrain.

### ***Carte de susceptibilité aux mouvements de terrain sur le territoire du Pays A3V***

En 2009-2010, le territoire du pays A3V (Asse-Vaire-Verdon-Var) situé dans les Alpes de Haute-Provence, a fait l'objet d'une cartographie multirisque<sup>9</sup> menée par le BRGM, en partenariat avec le Conseil Régional et la DREAL. Pour les besoins de l'étude, des cartes de susceptibilité aux mouvements de terrain de type glissements, chutes de blocs, ravinements ont été réalisées par les services RTM du département. Ces cartes ont été dressées à l'échelle du 1/50 000. La méthode suivie est comparable à celle définie pour la cartographie régionale au 1/100 000. Les données de départ sont les mêmes : cartes géologiques et MNT. Les cartes finales donnent deux types de zones : glissements/chutes de blocs/ravinement avérés (événements connus) et glissements/chutes de blocs/ravinement présumés (issus du croisement lithologie/pente). A noter que dans le cas de l'évaluation de la susceptibilité aux chutes de blocs, seules les zones de production de pierres/blocs sont prises en compte, à l'exclusion des zones de propagation/réception.

Etant donné l'objectif final de la carte de susceptibilité aux mouvements de terrain qui est son intégration à une carte d'analyse multirisques, les résultats de l'étude n'ont pas été utilisés directement, en tant que tels, dans la carte régionale d'aléa mouvements de terrain sur la Provence cristalline. L'étude a plutôt été utilisée comme un outil d'aide pour l'identification des faciès sensibles aux phénomènes mouvements de terrain, et pour la définition de la typologie des événements.

### ***Cartes résultats de la campagne d'interférométrie radar différentielle suite aux inondations de juin 2010***

Suite aux précipitations exceptionnelles qui ont touché le Var le 15 juin 2010, des mouvements de terrain type glissements, coulées de boue ou plus ponctuellement chutes de pierres et effondrements se sont produits sur le territoire de la Dracénie (ou Dracénois) où les hauteurs d'eau enregistrées furent les plus fortes. D'autre part, ce même bassin de risque a particulièrement été touché par des effondrements dans le passé, dont certains ont surpris par la soudaineté de leur survenue et leur ampleur (Bargemon, 1992). Les conséquences sur la survenue d'événements gravitaires à moyen terme, suite à ces fortes intempéries, n'est pas à exclure. Parmi les actions engagées suite à ces intempéries, figure une campagne d'analyse globale par interférométrie radar différentielle sur le Var, suivie par une analyse plus détaillée sur la zone de Draguignan<sup>10</sup> (Illustration 20 et Illustration 21). Les images radar satellitaires sont prises à intervalles de temps réguliers. Le principe du traitement d'images par interférométrie radar est explicité en détail dans le rapport final BRGM/RP-59323-FR. L'emprise des images acquises pour réaliser le traitement englobe entièrement le

---

<sup>9</sup> Marçot N. et al. (2010)

<sup>10</sup> Marçot N. et al. (2011)

département du Var, et déborde sur les départements voisins : Bouches-du-Rhône, Alpes de Haute-Provence et Alpes-Maritimes.



Illustration 20 : Emprise des images radar acquises pour l'analyse interférométrique

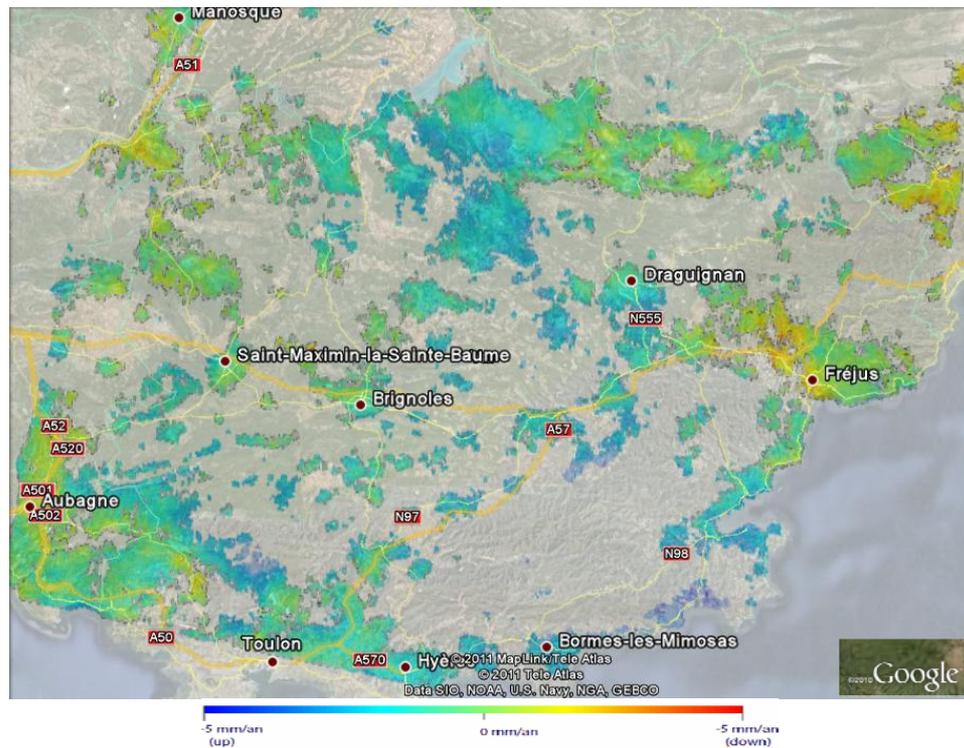


Illustration 21 : Carte des vitesses linéaires des déplacements issues du traitement des images radar par analyse interférométrique (visualisation sur image Google Earth)

Une dizaine d'images radar couvrant la période 2002 à 2010 a pu être acquise et traitée. Dans un premier temps, une carte générale des vitesses linéaires des mouvements subverticaux (la ligne de visée du satellite est inclinée d'environ 75° sur l'horizontale) du sol est réalisée, puis à partir de cette carte, des sites sont sélectionnés afin de mener une analyse plus fine des vitesses en réalisant par exemple des séries temporelles des vitesses linéaires sur ces sites. Compte-tenu de l'échelle de l'étude menée ici, seule la carte générale est utilisée.

L'interférométrie radar mesure les éloignements et rapprochements depuis ou vers le satellite. Ces mouvements sont retranscrits en vitesses linéaires (mm/an), sous forme de code couleur : le rouge représente un éloignement de la cible radar par rapport au satellite, et le bleu un rapprochement de la cible radar vers le satellite. Les mouvements du sol mis en évidence dans la carte de vitesses linéaires peuvent être dus à des mouvements verticaux du sol de type subsidence (en rouge) ou élévation (en bleu), ou bien encore à la projection de mouvements horizontaux sur la ligne de visée. L'interférométrie rend compte de mouvements du sol lents et de faible amplitude (maximum de quelques centimètres par an).

La carte générale des vitesses linéaires issue de l'analyse interférométrique radar a été utilisée pour comparer les résultats de la cartographie de la susceptibilité aux effondrements obtenue sur la Provence cristalline. Une attention particulière a été portée sur les secteurs montrant les vitesses linéaires de subsidence (valeur négatives) les plus fortes (zones rouge à orangé sur la carte de l'illustration 21).

#### **4.2. 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 fine : 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 intéressant 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 pour cet objectif est le 1/25 000 ;
- 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 au niveau des Document 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 au moins à l'échelle du 1/25 000.

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 l'étendue 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.

### **4.3. 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 et 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 et repris dans le tableau de synthèse de l'illustration 22.

#### 4.3.1. 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 le 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, puisqu'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 sensibles aux éboulements et chutes de blocs par exemple. La granulométrie des matériaux est également déterminante quant à 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 de joints plus ou moins marneux) 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 également des facteurs essentiels quant 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 optimum de 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 affecter 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.

#### 4.3.2. 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 manifestent.
- 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 dans les 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 de sol 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 (remblais) dans les pentes ...) ;
  - la présence d'excavations souterraines anthropiques (carrières, mines) dont la vétusté des installations peut vite évoluer (dégradation des systèmes de soutènements, altération des massifs accélérée 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 fouissement d'animaux participant à l'érosion des sols et à 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.

Mouvement de terrain		Type		Facteurs permanents (de prédisposition)										Facteurs variables dans le temps (de déclenchement)									
		Vitesse		Affaissement		Glissement (fluage)		Retrait-gonflement		Effondrement		Eboulements		Glissements meubles		Glissements rocheux		Laves torrentielles		Coulées de boue			
		Lente		Rapide																			
Facteurs permanents (de prédisposition)	couvert végétal																						
	morphologie	zone de falaise																					
		pente																					
	structure des terrains	direction fracturation																					
		densité fracturation																					
	nature et caractéristique des terrains	présence de cavités																					
		granulométrie																					
		homogénéité / hétérogénéité																					
		sol rocheux																					
	l'eau	sol meuble																					
		action chimique																					
action physico-chimique																							
la pesanteur	action mécanique																						

● : principal ; ○ : secondaire

Illustration 22 : Synthèse des principaux facteurs d'instabilités (Colas, 2008)

#### 4.4. 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 des 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 Provence cristalline, servant de support à des actions d'information et de sensibilisation aux les risques « mouvements de terrain ».

La méthodologie suivie pour établir la susceptibilité des formations aux mouvements de terrain suit une démarche similaire à celle définie pour la cartographie que la susceptibilité sur la Provence calcaire et rhodanienne. Cela 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.

Les cartes d'aléa glissements de terrain, chutes de blocs et éboulements et « coulées » ont ensuite été synthétisées en une seule carte d'aléa mouvements de terrain. 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

La carte de la susceptibilité des formations aux glissements a été réalisée 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.

#### 5.1.1. Recensement des glissements actifs cartographiés

La distinction entre glissement actif et stabilisé est relativement subjective. En effet, une pente est considérée comme stable dès lors que l'on n'a aucune possibilité de mesurer de très faibles déformations, ce qui est très souvent le cas. La distinction établie ici entre glissements actifs et stabilisés ne peut donc être qu'approchée, mais cela est suffisant en général. Sont alors considérés comme actifs dans les cartes géologiques, tous les mouvements présentant des indices de déformations récentes (crevasses fraîches, végétation enfouie sous les bordures de la masse en mouvement ou sous les bourrelets formés sur le corps du glissement, forte teneur en eau, modification rapide du réseau hydrographique au voisinage de la langue, dégâts causés à des constructions).

Sur ces zones, les services gestionnaires (Conseils généraux et services de l'Équipement et de l'ONF) remédient aux désordres par la recharge des plates-formes, le drainage, le soutènement des talus par des enrochements ou des gabions, la canalisation dans des ouvrages étanches des écoulements superficiels, mais la stabilisation définitive de ces mouvements de grande ampleur est économiquement, autant que techniquement, impossible.

Dans le cadre de l'aléa glissement de terrain, il a été choisi de valoriser cette information en intégrant les zones cartées en glissement actif sur les cartes

géologiques au 1/50 000 du BRGM, à la carte d'aléa glissement de terrain. Cependant, sur la Provence cristalline, les cartes géologiques n'ont pas recensé de zones en glissement actif. Cette information a dû être complétée par la bibliographie et le recensement des services RTM. Finalement, seul le glissement de Villard-des-Dourbes, bien connu et cartographié a été reporté sur la carte d'aléa finale en tant que zone potentiellement exposée aux glissements de terrain. Cela ne signifie pas qu'il n'existe pas d'autres zones, mais soit leur contour est mal connu, soit elles n'ont pas encore été recensées. Les zones de glissements connues mais dont la cartographie est imprécise seront utilisées pour valider/modifier les résultats de la carte d'aléa glissement.

### **5.1.2. Identification des formations sensibles au phénomène**

L'identification des formations sensibles aux glissements est déterminée par démarche d'expert à partir de la connaissance du terrain et des caractéristiques de la formation géologique en ce qui concerne les facteurs de prédisposition. L'appréhension de ces caractéristiques s'appuie en particulier sur l'analyse des notices des feuilles géologiques au 1/50 000, des notices de cartes ZERMOS ou CRAM et des descriptions des formations sensibles aux glissements réalisées par les services RTM sur le Pays A3V dans le cadre de la cartographie multirisque (Marçot (brgm), 2010).

Cette démarche d'expert est complétée par l'analyse de la répartition des événements recensés par formation (cf. §4.3) basée sur le principe qu'une formation ayant subi des événements est susceptible d'en connaître à nouveau dans un contexte identique.

Au total, 105 formations présentent des lithologies sensibles aux glissements de terrain. Les principales lithologies sont les marnes, les argiles, les formations gypso-marneuses, les flyschs gréseux, et les formations superficielles quaternaires issues de l'altération des terrains en place (colluvions argileuses, éboulis).

Néanmoins, il convient de garder à l'esprit que les éléments cartographiés sont des formations géologiques (caractérisées par un âge et des conditions de mise en place) lesquelles ne correspondent pas nécessairement à une lithologie homogène. En outre, il faut également souligner que les formations superficielles de faible extension, qui sont souvent le siège de glissements ou d'éboulements, sont mal représentées sur certaines cartes géologiques. Or ces formations superficielles, de quelques mètres d'épaisseur, sont fréquemment instables ; l'ampleur des mouvements induits (généralement chute de blocs ou glissement de terrain) pouvant suffire à rendre une route momentanément impraticable. Les visites de terrain ont permis de constater l'existence de placages d'éboulis, ou de couvertures de colluvions couvrant des faciès mixtes, c'est-à-dire composés de roches tendres et dures. L'échelle du 1/100 000 ne permet cependant pas de cartographier ces formations superficielles.

### 5.1.3. Regroupement des formations homogènes en termes de litho-stratigraphie

Les formations sensibles aux glissements sont regroupées en fonction de leur caractéristiques litho-stratigraphiques (âge et nature de la formation) et de leur comportement mécanique vis-à-vis des glissements. Ce regroupement découle directement d'une analyse d'expert intégrant les événements observés sur le terrain et le comportement de ces formations en termes de stabilité au glissement : 11 groupes de formations géologiques ont été distingués (Illustration 23).

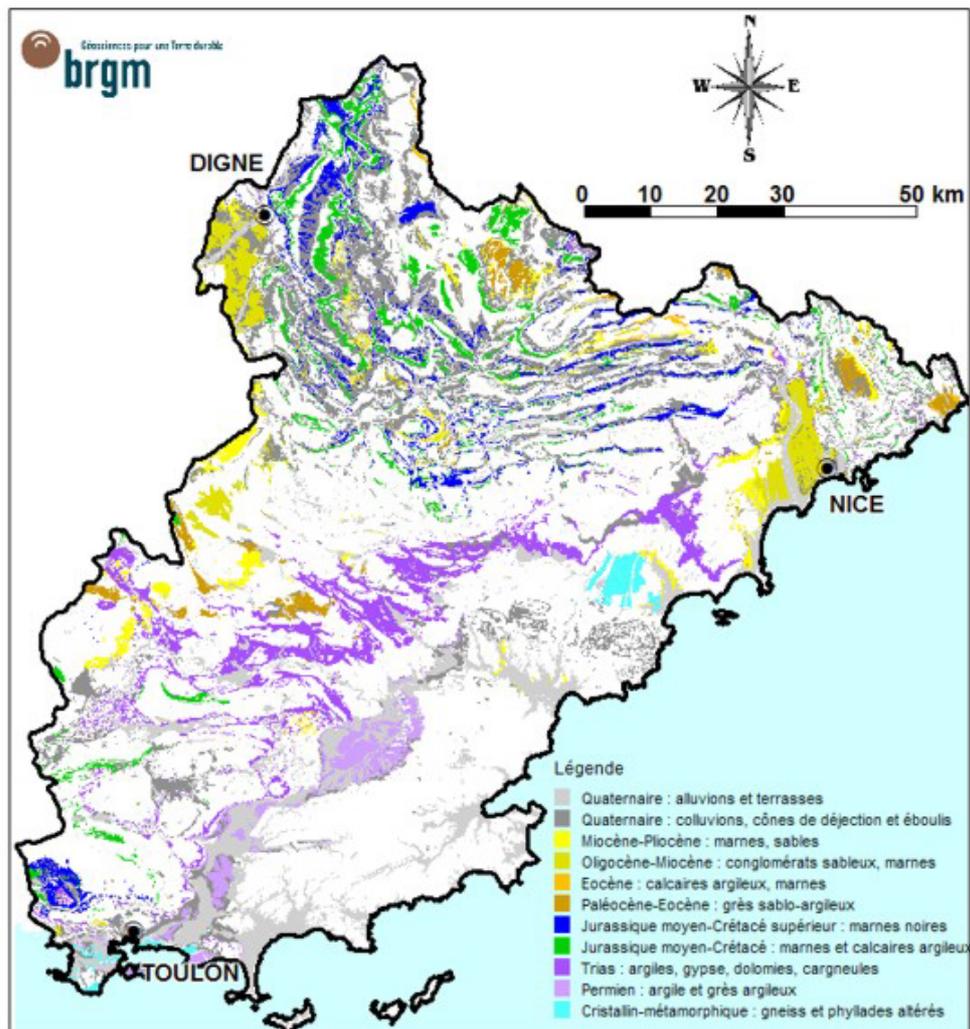


Illustration 23 : Carte des regroupements des formations sensibles aux glissements en fonction de leur litho-stratigraphie (âges et natures des formations similaires)

#### 5.1.4. Analyse « litho-pente »

Pour chaque regroupement, une évaluation de la pente au-delà de laquelle les formations sont susceptibles d'être déstabilisées est effectuée. Cette évaluation « à dire d'expert » procède d'un rapprochement entre les événements recensés/constatés et les pentes calculées ces endroits à partir du MNT de l'IGN au pas de 50 m. Il s'agit donc de « pentes MNT » qui peuvent être différentes de celles observées sur le terrain. Cette différence s'explique par le fait qu'avec le MNT les pentes sont moyennées par pixel (50 m x 50 m). Dans certains cas de relief accidenté, la taille de ce pixel intègre de fortes variations de pente qu'une moyenne ne peut traduire de manière réaliste, la juxtaposition de ces pixels pouvant même conduire à des erreurs dommageables, mais non détectables à la simple lecture de la carte.

La pente limite ainsi définie est un paramètre objectif et opérationnel, bien qu'il ne soit pas un paramètre physique puisqu'il est différent de la pente effectivement observable sur le terrain. Il s'utilise de telle manière que lorsque la pente (issue du MNT) de la formation géologique concernée lui est supérieure, la susceptibilité aux glissements est moyenne à forte, et lorsque cette pente est inférieure, la susceptibilité est faible à nulle. Deux classes ont été retenues : 0 : susceptibilité faible à nulle ; 1 : zones potentiellement exposées à l'aléa glissement (Illustration 24).

Groupe	Stratigraphie	Lithologie	Classes de pentes par classes de susceptibilité	
			0	1
A	Quaternaire	Alluvions et terrasses	0 à 14°	> 14°
B	Quaternaire	Colluvions, cônes de déjection et éboulis meubles	0 à 19°	> 19°
C	Miocène-Pliocène	Marnes, sables	0 à 9°	> 9°
D	Oligocène-Miocène	Conglomérats sableux, marnes	0 à 12°	> 12°
E	Eocène	Calcaires argileux, marnes	0 à 14°	> 14°
F	Paléocène-Eocène	Grès sablo-argileux	0 à 20°	> 20°
H	Jurassique moyen-Crétacé supérieur	Marnes noires	0 à 19°	> 19°
G	Jurassique moyen-Crétacé	Marnes et calcaires argileux	0 à 25°	> 25°
I	Trias	Argiles, gypse, dolomies, cargneules	0 à 14°	> 14°
J	Permien	Argile et grès argileux	0 à 18°	> 18°
K	Cristallin-Métamorphique	Gneiss et phyllades altérés	0 à 17°	> 17°

Illustration 24 : Tableau des regroupements des formations géologiques sensibles aux glissements et classes de pentes associées

On peut remarquer que les seuils de pentes peuvent différer de ceux définis pour des formations similaires rencontrées sur les deux précédentes zones étudiées pour la cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain (Provence calcaire et zone

alpine). Ceci est dû au fait que ces formations se présentent dans un contexte géomorphologiquement différent de ceux de la zone Provence calcaire et de la zone alpine.

Le cas des formations des conglomérats sableux, marnes de l'Oligocène-Miocène (catégorie D), des grès sablo-argileux du Paléocène-Eocène (catégorie F), des argiles et grès argileux du Permien (catégorie J) et des gneiss et phyllades altérés (catégorie K) est particulier. Sur ces deux dernières formations, seule la tranche d'altération superficielle est mobilisable (favorisée par une lithologie en aval pendage ou une foliation parallèle à la pente dans le cas des gneiss). Dans le cas des formations des catégories D et F, il s'agit de formations mixtes, qui présentent à la fois des faciès meubles (marneux, sableux) qui sont sensibles aux glissements, et à la fois des faciès indurés (bancs de grès ou conglomérats) qui vont « armer » la formation, c'est-à-dire limiter leur possibilité de glissement. Quelques illustrations imagent ces cas dans les paragraphes ci-dessous.

Au sud-est des Alpes-Maritimes par exemple, sur les communes de Menton, Gorbio et Sainte-Agnès, la formation des Grès d'Annot (catégorie F) affleure principalement sous sa forme altérée (limons argilo-sableux de couverture). A l'origine, il s'agit d'un flysch composé de grès gris à bancs en alternance régulière, qui par endroit, sous l'effet de l'altération, peuvent devenir franchement sableux. Entre ces bancs, s'intercalent des interlits marneux plus ou moins puissants. La couverture d'altération des Grès d'Annot peut atteindre de fortes épaisseurs et est facilement mobilisable lors de pluies intenses. Ce fût le cas par exemple lors des glissements de 2000 (Illustration 25). On retrouve également cette formation dans les Alpes de Haute-Provence dans la région d'Annot, où la formation peut être le siège de vastes glissements (exemple glissement des Braux). Par contre, lorsque la formation affleure sous sa forme indurée (bancs de grès), elle sera plus sensible aux chutes de blocs (Illustration 26).



*Illustration 25 : Talus sableux dans la couverture d'altération des Grès d'Annot (photo prise à Menton suite aux événements de 2000)*

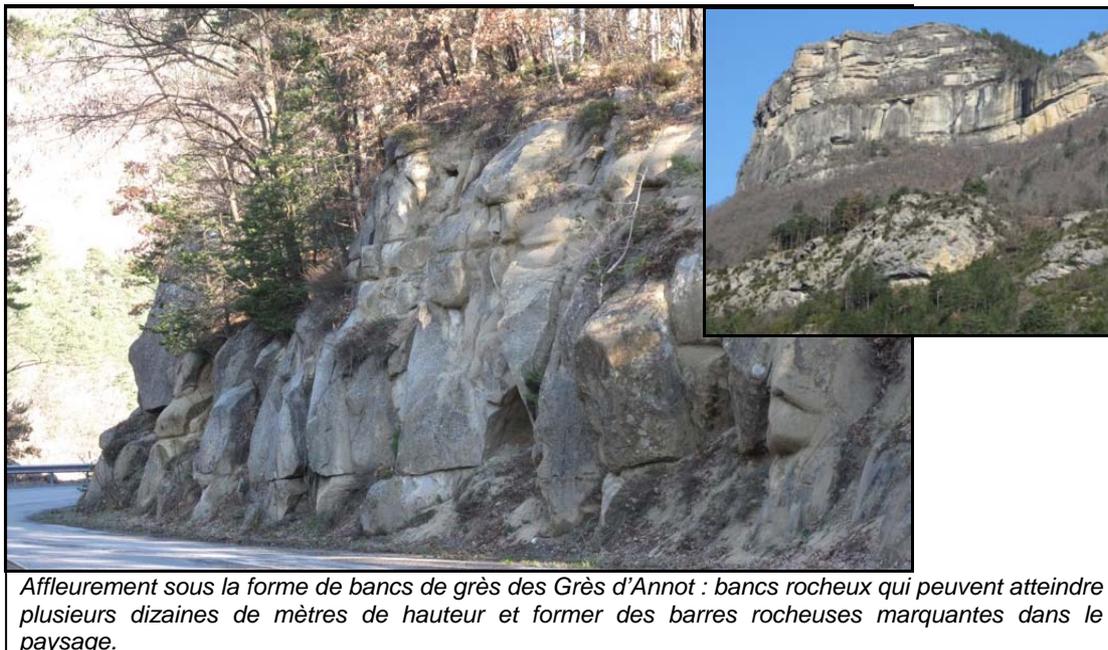


Illustration 26 : Affleurement des Grès d'Annot sous leur forme origine (observation terrain, avril 2010, Le Fugeret, Alpes de Haute-Provence)

La formation des conglomérats marneux de Valensole (catégorie D) affleurant principalement au sud des Alpes de Haute-Provence dans la région de Digne, se présente sous la forme bancs de grès avec des interdits marneux. Les marnes contenues dans la formation vont être sensibles aux glissements tandis que les bancs de grès peuvent donner des chutes de blocs notamment lorsqu'ils se retrouvent en surplomb (Illustration 27).

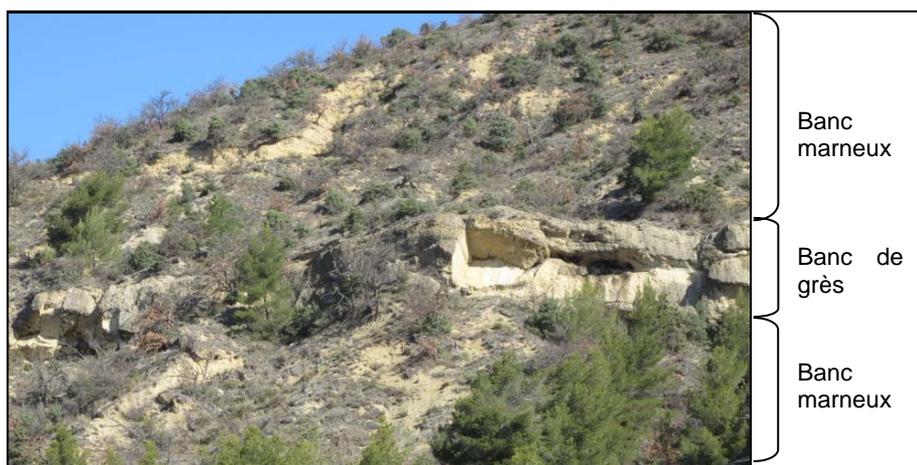
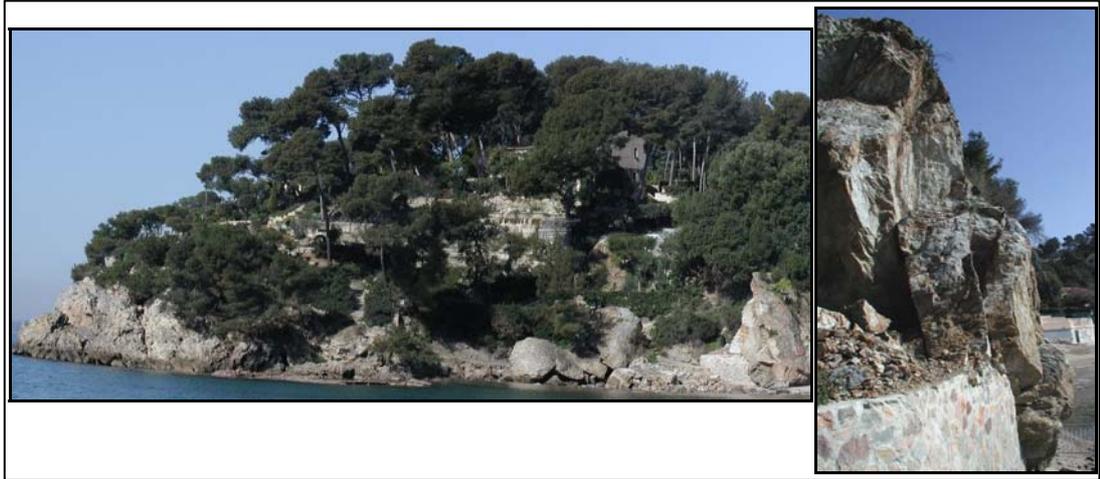


Illustration 27 : Affleurement des conglomérats de Valensole (observation terrain, avril 2010, Digne-les-Bains, Alpes de Haute-Provence)

Sur le littoral varois, dans la région de Toulon, ainsi qu'à l'est sur le massif du Tanneron, affleure des gneiss et phyllades (catégorie K, Illustration 28) qui peuvent présenter un état d'altération avancée (Illustration 29). La couverture d'altération est formée de limons sableux qui peuvent atteindre quelques mètres d'épaisseur par endroit. Ces limons sont sensibles aux glissements, qui peuvent se déclencher lorsque la pente est forte et que les conditions hydrométriques sont favorables (couverture perméable qui se gorge d'eau).



*Illustration 28 : Affleurement des phyllades sous leur forme indurée : roches métamorphiques formant des falaises le long du littoral (observation terrain au Pradet (Var), mars 2003)*



*Illustration 29 : Affleurement des phyllades sous leur forme altérée, photo de droite zoom sur talus (observation terrain au Cap Brun (Toulon) en mars 2003)*

### **5.1.5. Réalisation de la carte d'aléa glissement de terrain au 1/100 000**

La cartographie des zones potentiellement exposées à l'aléa glissement est réalisée en sélectionnant les secteurs de pentes supérieures aux classes définies pour chacun

des 11 groupes de formations géologiques, puis en croisant les cartes des pentes avec les cartes de formations sensibles au phénomène.

Un schéma synthétique des différentes étapes de l'élaboration de cette carte est proposé sur l'illustration 30. La carte finale est présentée en planche hors-texte (Cartes 1 et 2) au 1/100 000 et sur l'illustration 31.

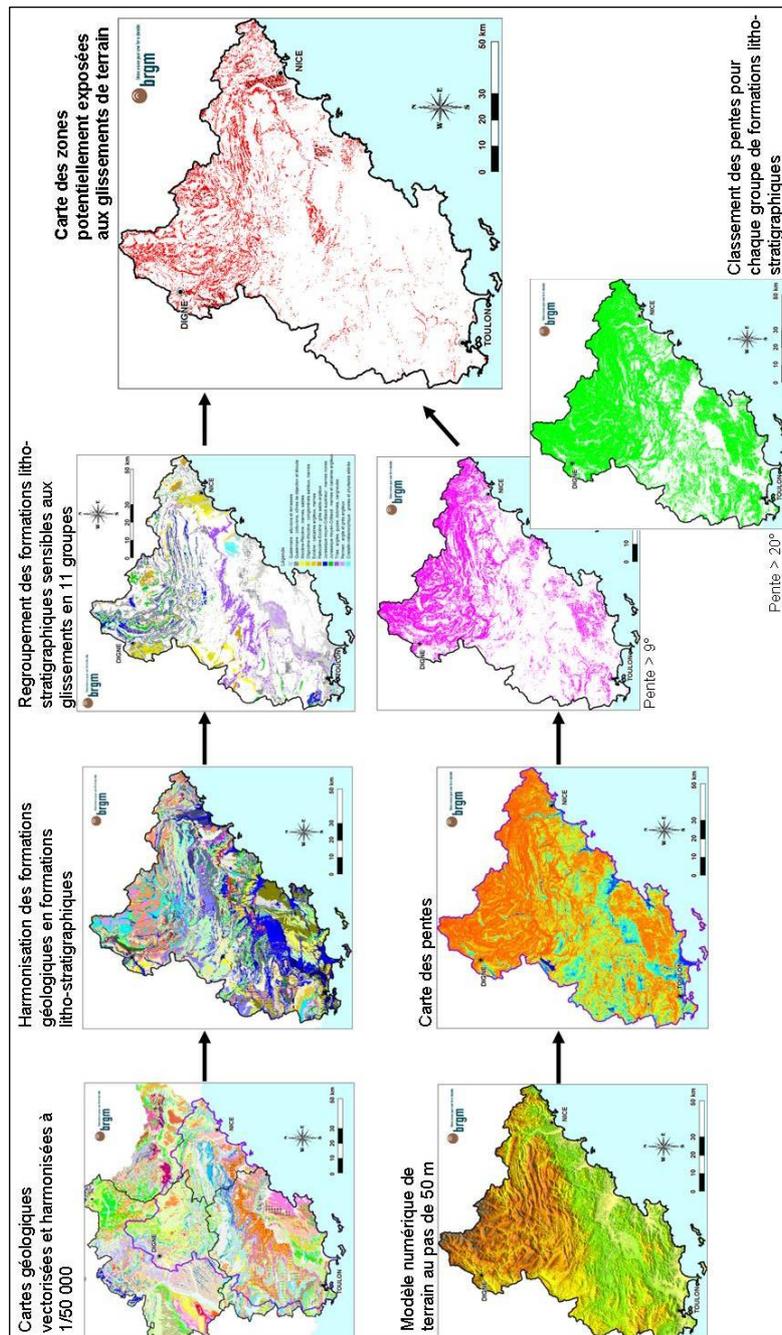


Illustration 30 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa glissement de terrain

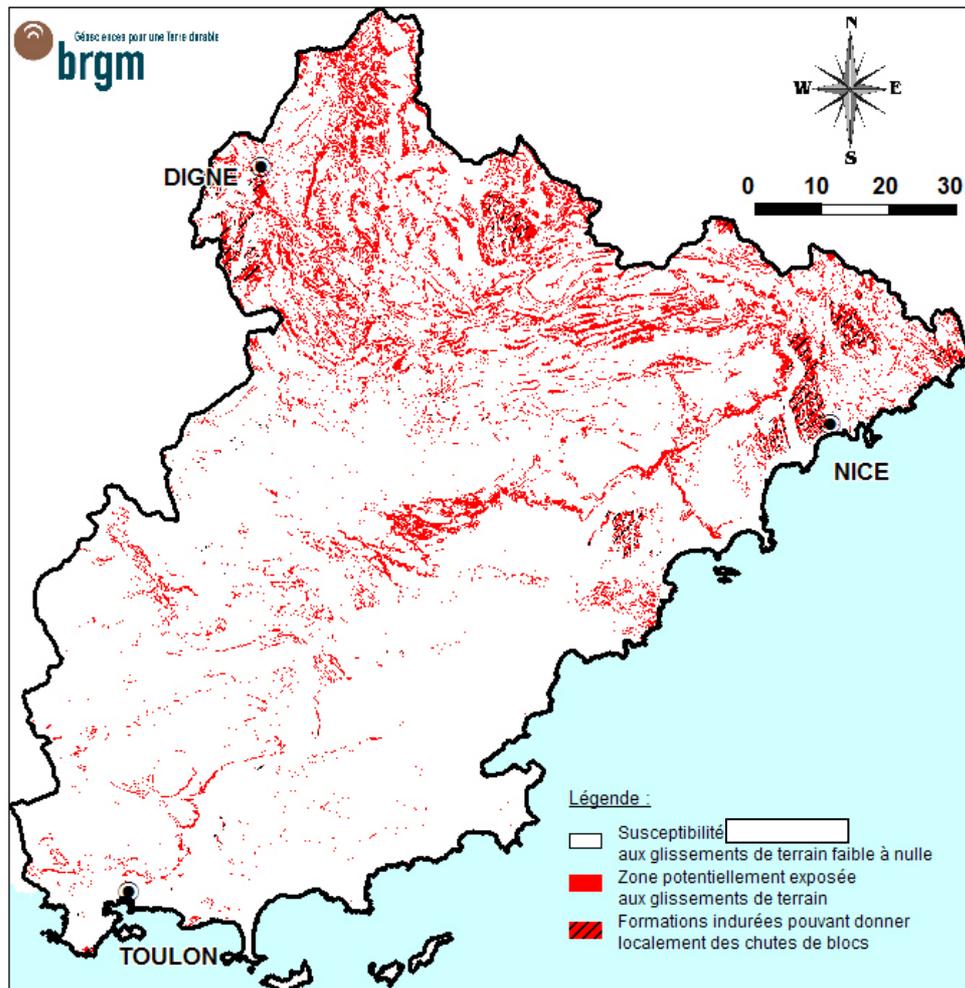


Illustration 31 : Cartographie régionale de l'aléa glissement de terrain sur la Provence cristalline

Finalement, l'aléa glissement de terrain représente 9,5 % de la surface totale de la zone.

## 5.2. ALÉA INSTABILITÉS ROCHEUSES

La carte d'aléa instabilités rocheuses (chutes de blocs et éboulement) a été réalisée selon la même démarche mise en place lors de l'étude de la Provence calcaire et rhodanienne et de la zone alpine. Sur ces deux zones, une analyse type lithologie/pente avait été 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 probables de propagation sont cartées en tant que zones potentiellement exposées aux instabilités rocheuses.

La démarche a été 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 probables de propagation des produits issus des chutes de blocs et éboulements ;
- Réalisation de la carte de susceptibilité des formations aux instabilités rocheuses.

### **5.2.1. Identification des formations sensibles au phénomène**

L'identification des formations sensibles aux instabilités rocheuses suit la même démarche que celle établie pour l'identification des formations sensibles aux glissements. Elle est basée principalement sur une démarche d'expert (identification à partir de la connaissance du terrain et des caractéristiques de la formation géologique) complétée par l'analyse de la répartition des événements recensés par formation basée sur le principe que dans un même contexte une formation ayant subi des événements est susceptible d'en connaître à nouveau.

Au total, 239 formations présentent des lithologies sensibles aux chutes de blocs et éboulements. Les principales lithologies sont les calcaires, dolomies, grès, roches magmatiques (gneiss, granite) et éboulis vifs recouvrant ou non ces formations rocheuses (Illustration 32).

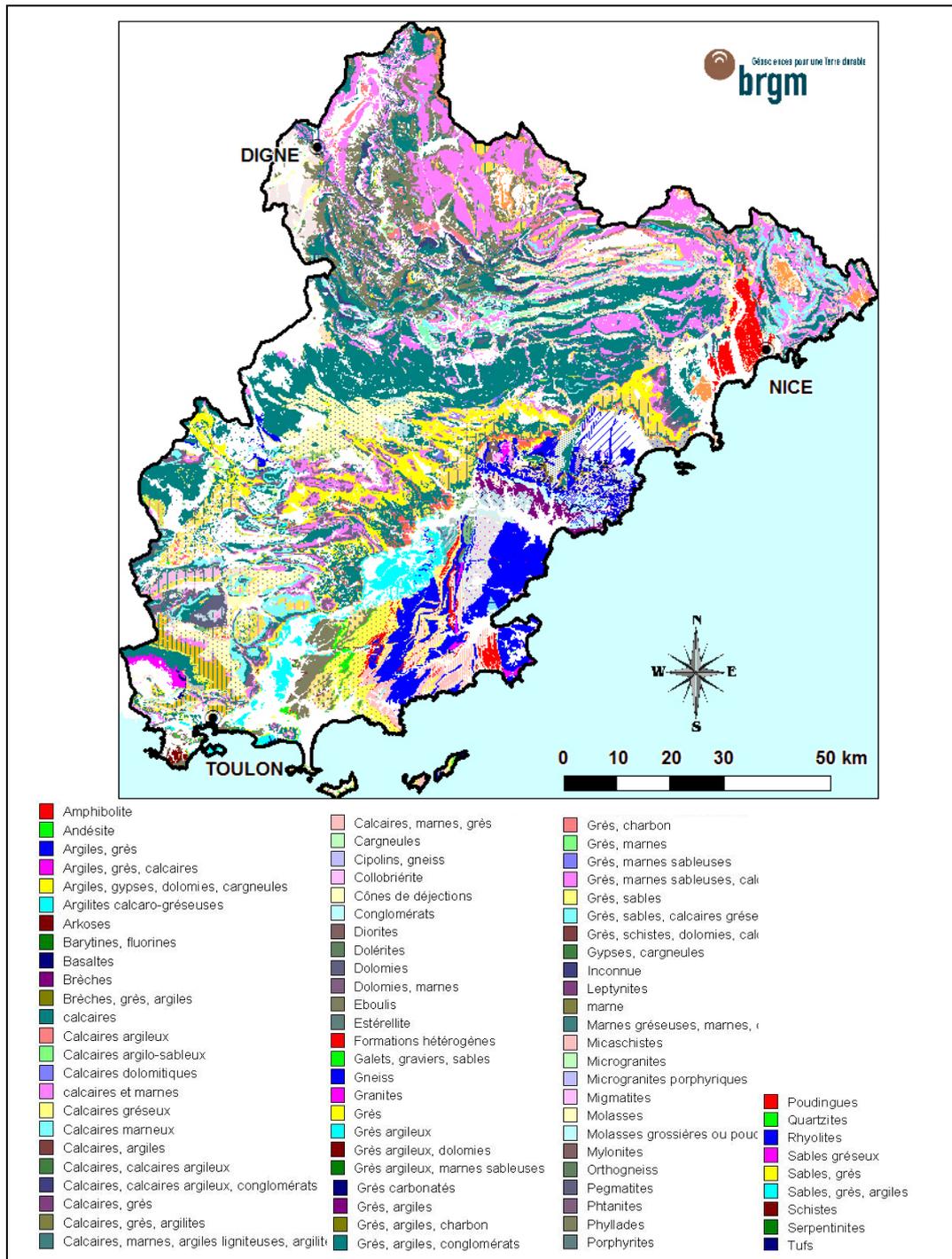


Illustration 32 : Cartes des lithologies sensibles aux instabilités rocheuses

### **5.2.2. Analyse litho-pente**

Détermination de la pente limite au-delà de laquelle les éléments rocheux produits sont susceptibles de se propager. Cette analyse est basée sur la connaissance des formations et sur une étude approfondie de l'inventaire des événements chutes de blocs et pierres recensés sur la Provence cristalline. A partir de cette analyse, la pente limite a été fixée à 35° pour l'ensemble des formations sélectionnées. De même que pour les glissements, l'estimation de la pente limite est réalisée à partir de la carte des pentes issue du MNT au pas de 50 m, ce n'est pas un paramètre intrinsèque car il ne correspond pas nécessairement à la pente effective du terrain (cf. § 5.1.4, alinéa 2).

### **5.2.3. Identification des barres rocheuses**

Les barres rocheuses sont des zones de départs potentiels de chute de blocs qui ne ressortent pas toujours clairement sur la carte des pentes issues du MNT. Un travail d'identification par digitalisation des barres rocheuses à partir du scan25 et des orthophotos de l'IGN© a été réalisé (cf. §4.1.3).

### **5.2.4. Cartographie des zones probables de propagation**

La zone de réception des blocs éboulés est également à prendre en compte dans la cartographie de l'aléa. La cartographie des zones de réception a été réalisée avec le logiciel BORA. À partir de la carte des pentes et de leurs directions, et de la carte des barres rocheuses, le logiciel calcule les surfaces de propagation les plus probables des blocs (Illustration 33). Les données d'entrée sont :

- les zones potentielles de départs : formations sensibles aux instabilités rocheuses de pentes supérieures à 35° et barres rocheuses ;
- grille de direction des pentes obtenue à partir du MNT.

Le logiciel permet de calculer les directions les plus probables de propagation des produits de la chute de blocs. La carte obtenue est ensuite vérifiée sur le terrain et corrigée si nécessaire.

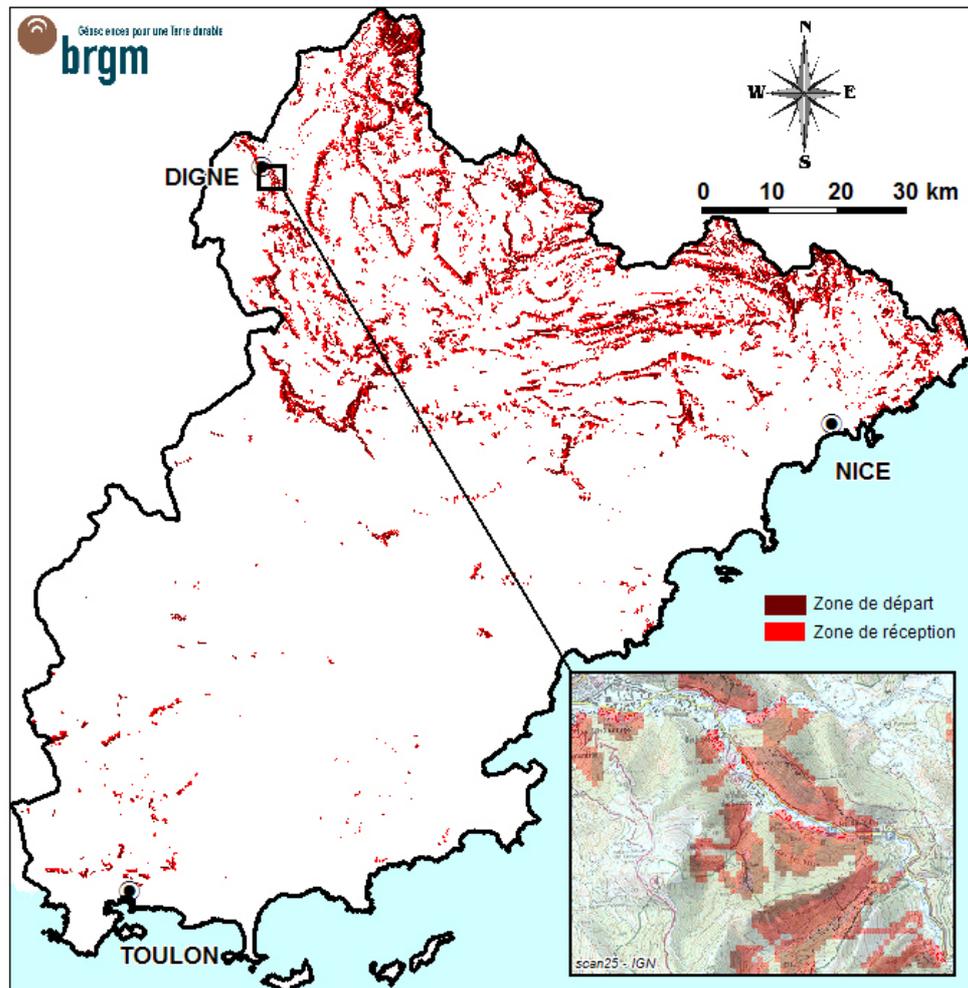


Illustration 33 : Zones de départ des chutes de blocs et éboulement et zones de réception des blocs les plus probables

### 5.2.5. Carte de l'aléa chutes de blocs et éboulements rocheux

La carte d'aléa est obtenue à partir des zones de départ et de réception définies comme zones potentiellement soumises au phénomène. La démarche est illustrée sur l'illustration 35.

La carte d'aléa liée aux instabilités rocheuses figure en planche hors-texte (Carte 3 et Carte 4) à l'échelle 1/100 000 et sur l'illustration 34.

Il convient de rappeler que le MNT au pas de 50 m ne permet pas de détecter les talus rocheux (hauteur inférieure à 10 m) taillés dans le rocher pour le passage d'une route par exemple. Or ces talus, selon leur état d'altération, le pendage des couches etc., pourront donner des chutes de pierres et de blocs qui se propageront sur de courtes distances mais induiront des dommages sur la chaussée directement exposée.

L'échelle de cartographie de l'aléa chutes de blocs au 1/100 000, qui utilise le MNT au pas de 50 m, ne permet pas de prendre en compte les talus routiers comme zones de départ potentielles des chutes de blocs. On souligne ici les limites de cette échelle, bien adaptée pour mettre en évidence le contexte régional, mais qui ne convient pas pour une analyse de l'aléa local. Concernant l'aléa instabilité rocheuse le long du linéaire côtier, où là encore les falaises rocheuses ne sont pas forcément détectées par le MNT, on se réfèrera à la cartographie au 1/100°000 réalisée sur le littoral rocheux de la région PACA de 2004 à 2008<sup>11</sup>. Cette cartographie propose une analyse du risque sur le littoral rocheux allant de l'évaluation de l'aléa jusqu'à l'approche du risque lié à cet aléa.

Finalement, l'aléa chute de blocs affecte 8 % de la surface totale de la zone.

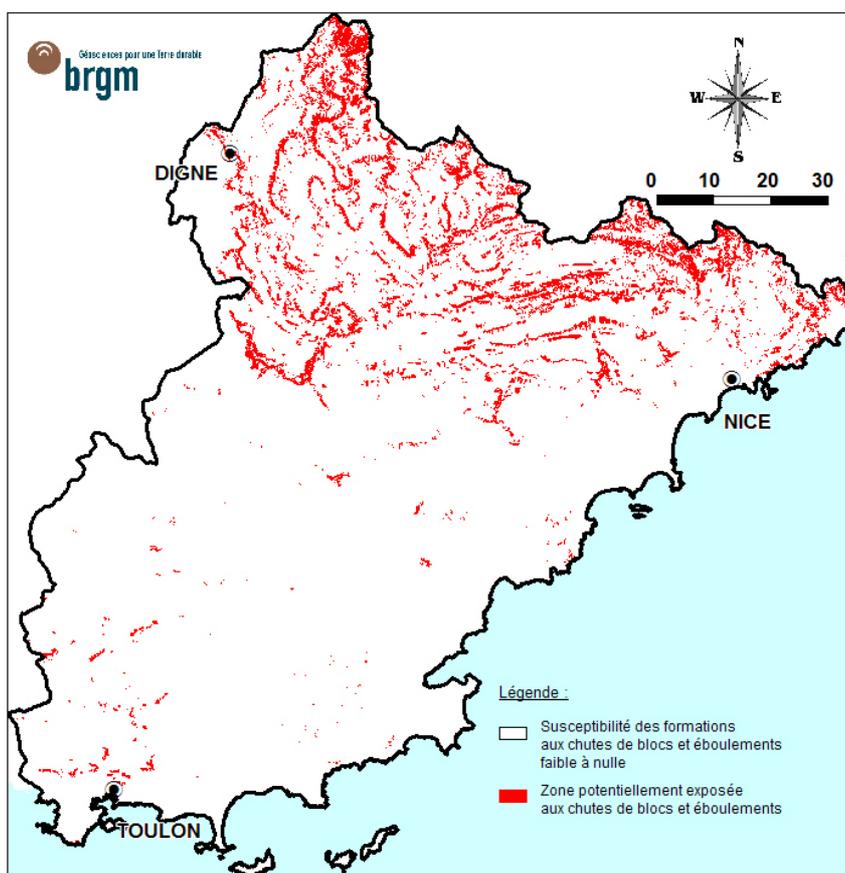
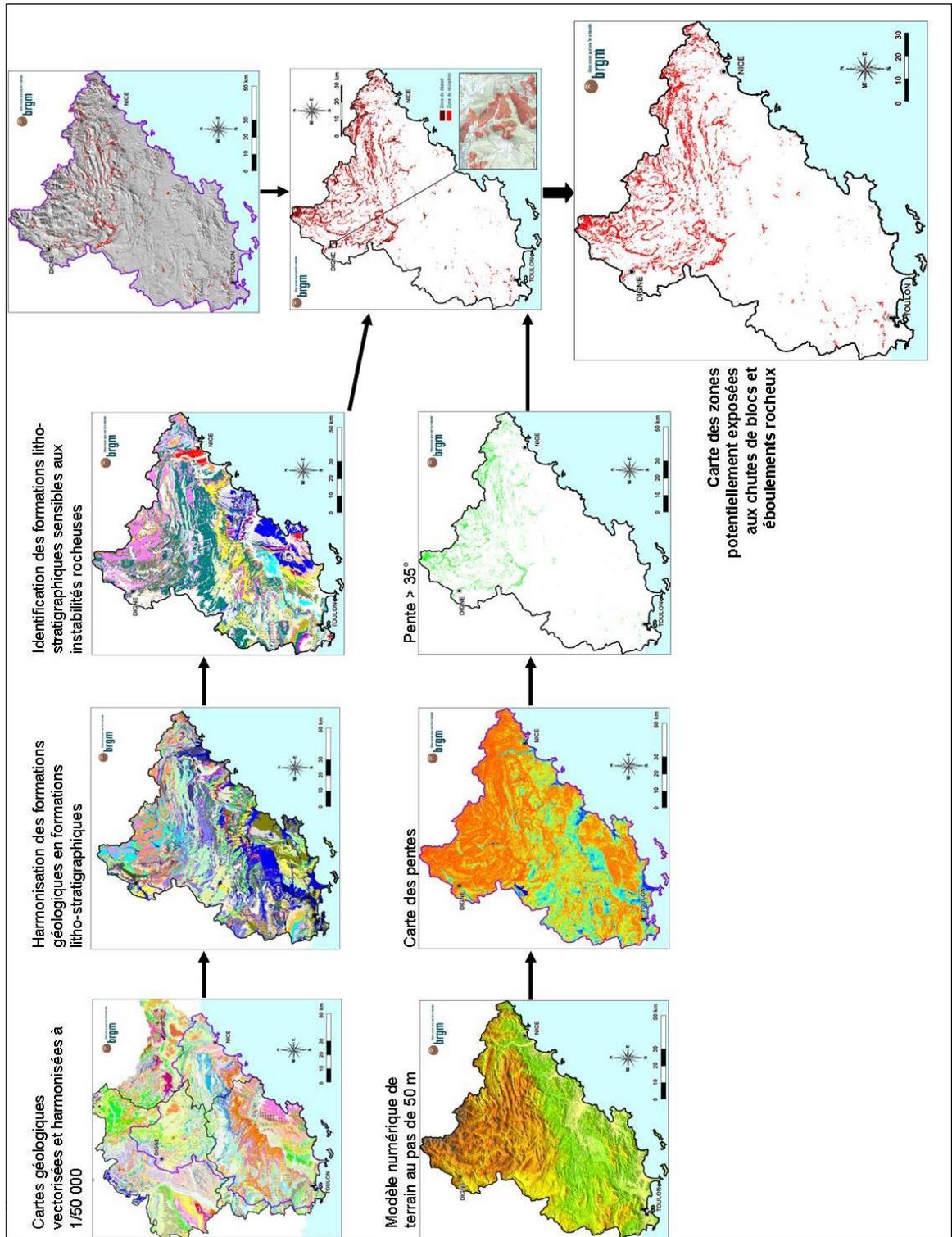


Illustration 34 : Cartographie de l'aléa chutes de blocs et éboulements au 1/100 000

<sup>11</sup> Marçot 2004, 2006, 2008



### 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).

La démarche suivie pour sa réalisation est similaire à celle mise en place dans le cadre de l'étude portant sur la Provence calcaire et rhodanienne (Rivet, 2007). 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 associée à une pente de 10°. Une homogénéisation globale de l'aléa « coulées » sera réalisée à l'issue du programme de cartographie régionale (Provence calcaire et rhodanienne, Zone alpine et Provence cristalline).

Il convient de rappeler que l'appréciation de cet aléa est faite 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. À 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). La démarche suivie pour réaliser la carte des zones potentiellement exposées aux phénomènes de « coulées » est décrite sur l'illustration 37. La carte finale obtenue est présentée en planche hors-texte (Carte 5 et Carte 6) à l'échelle 1/100 000 et sur l'illustration 36.

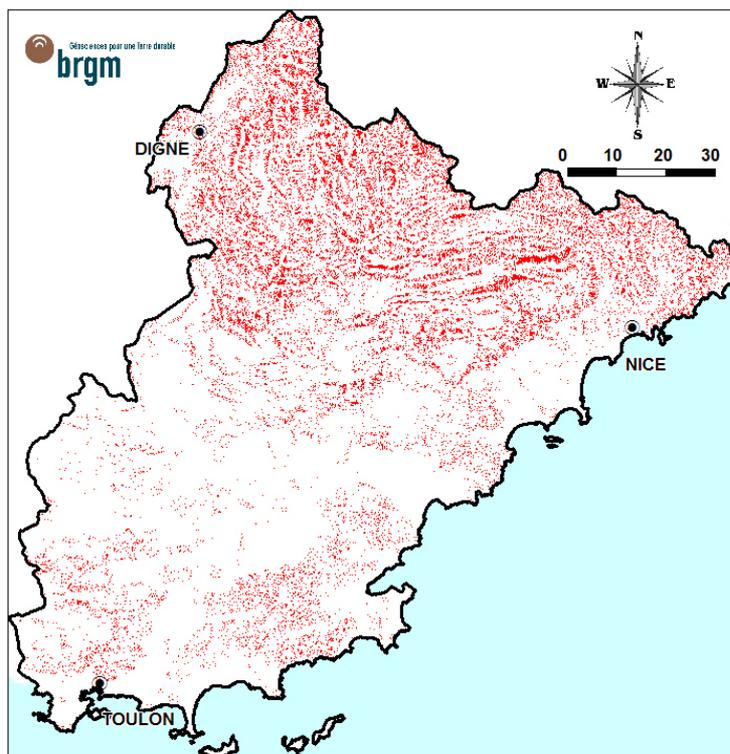


Illustration 36 : Carte de l'aléa « coulées » sur la Provence cristalline

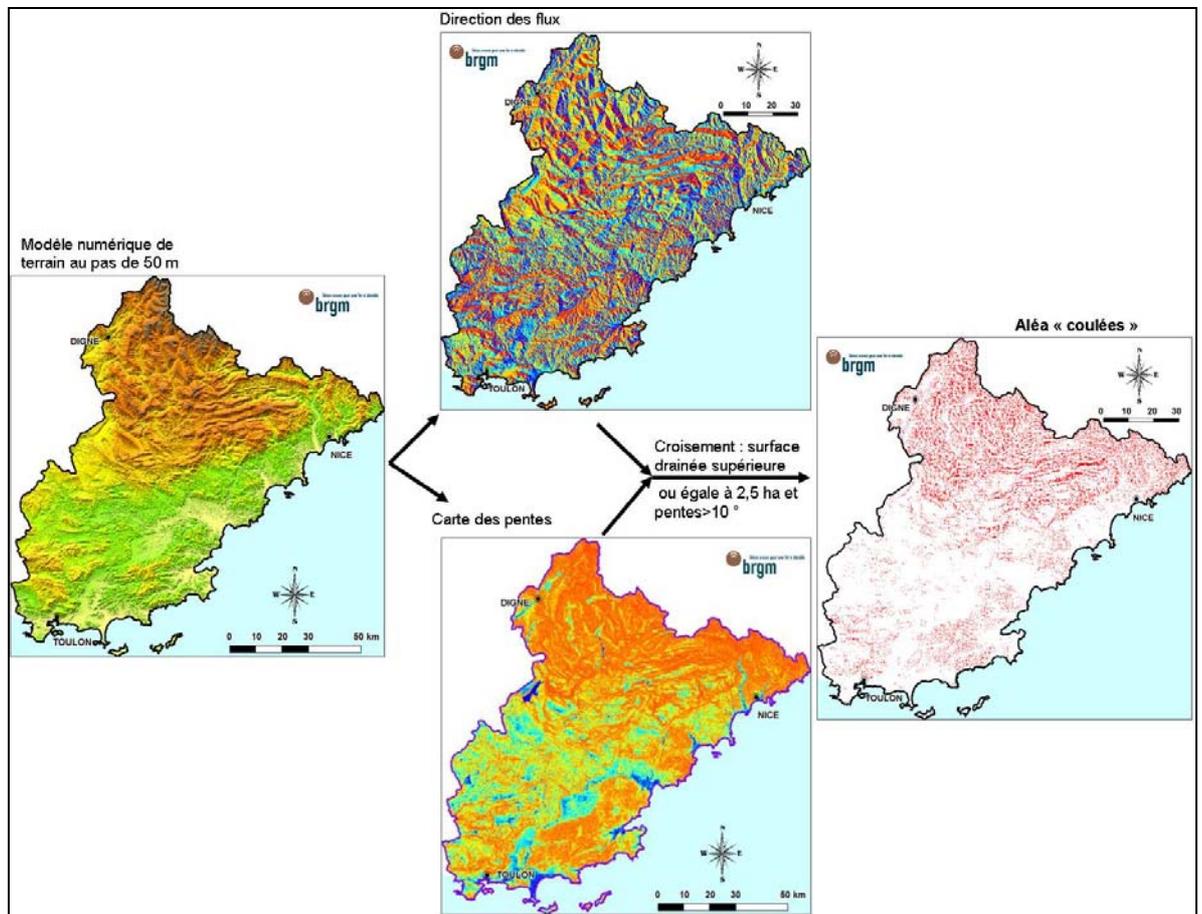


Illustration 37 : Principe d'élaboration de la carte de l'aléa « coulées »

La Provence cristalline étant la dernière zone d'étude de la cartographie régionale, la carte de l'aléa « coulées » a été homogénéisée sur l'ensemble de la région Provence-Alpes Côte d'Azur. Ceci est possible car la cartographie est réalisée uniquement à partir de considérations morphologiques, indépendantes du contexte géologique (contrairement aux trois autres cartes d'aléa mouvements de terrain).

Finalement, l'aléa « coulées » représente 19 % de la surface de la zone.

#### 5.4. ALÉA EFFONDREMENTS ET AFFAISSEMENTS LIÉS A 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 : 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 ;
- Comparaison des résultats avec la carte des vitesses linéaires des mouvements verticaux du sol obtenue par interférométrie radar différentielle sur le Var en 2010.

#### **5.4.1. Identification des formations susceptibles de contenir des cavités naturelles**

Les formations calcaires et gypseuses sont celles qui peuvent donner lieu à la formation de cavités souterraines naturelles type karst, issues de la dissolution du calcaire ou de la dissolution du gypse. L'identification de ces formations procède à la fois de la lecture des cartes géologiques, de l'examen des effondrements recensés dans le cadre de l'étude et de la localisation des cavités naturelles type aven, grotte, trou, gouffre, caverne et doline données par la base de données BD cavité (§ 3.1.1). Ainsi, après analyse des données, 36 formations sont sensibles à la karstification (Illustration 39).

Il convient de préciser que les formations calcaireuses ont une meilleure tenue mécanique que les formations gypseuses et une vitesse de dissolution beaucoup plus faible. Les phénomènes d'effondrements ou d'affaissements liés aux karsts calcaires se produisent essentiellement par soutirage des formations meubles sus-jacentes et sont globalement beaucoup moins dommageables que ceux associés aux formations gypseuses qui génèrent des cavités dont le volume et le fort caractère évolutif peuvent être à l'origine de fontis de grande taille.

Un tampon périphérique entourant les formations pouvant contenir des cavités naturelles a été créé afin d'intégrer les erreurs de localisation des événements et des cavités naturelles avérées, et les incertitudes relatives à la typologie de certains événements (dans les bases de données, il peut y avoir ponctuellement confusion entre effondrement et glissement par exemple). Après plusieurs essais, le choix s'est porté sur un tampon de 100 m (Illustration 38). Ce zonage permet d'intégrer 91 % des cavités naturelles et 67 % des effondrements naturels.

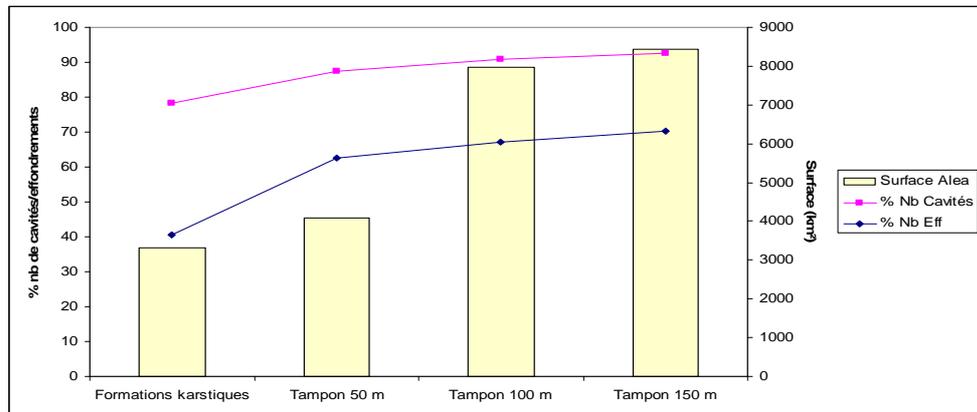


Illustration 38 : Délimitation des tampons périphériques autour des formations susceptibles de contenir des cavités

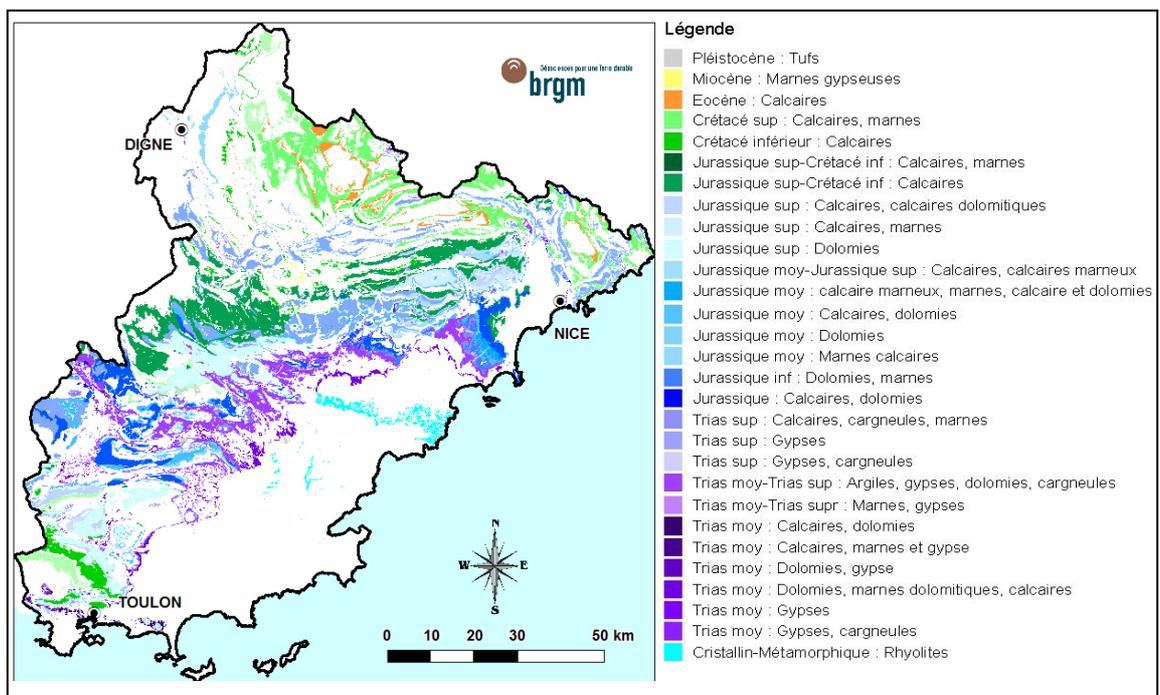


Illustration 39 : Formations géologiques susceptibles de contenir des cavités d'origine naturelles

#### 5.4.2. Identification des formations susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines

L'identification des formations susceptibles d'être exploitées en carrière souterraine a également été réalisée à partir des bases de données BD Carol et BD Cavités (cf. § 3.1.1., alinéa 3). A partir de la liste des matériaux exploités dans les carrières, il est possible de définir les formations à l'origine de ces matériaux. 23 carrières souterraines sont ainsi identifiées et localisées sur la Provence cristalline. Cet inventaire n'est pas

exhaustif mais permet cependant de mettre en évidence les principales formations exploitées en carrières souterraines (Illustration 40).

Les principales substances exploitées sont :

- du gypse pour la fabrication du plâtre, extraction dans les formations gypseuses du Trias ;
- du calcaire pour la construction, exploité dans les calcaires dolomitiques du Jurassique ;
- du sable pour diverses utilisations, extrait des sables rouges de l'Eocène ;
- des argiles pour la fabrication de poteries, exploitées dans les calcaires argileux du Crétacé.
- des formations du Trias : gypse, argiles, dolomies et les grès (extraction du sable) ; du Crétacé et Eocène : ardoises et calcaires. Ces formations sont également identifiées comme susceptibles de contenir des cavités formées par la dissolution du gypse.

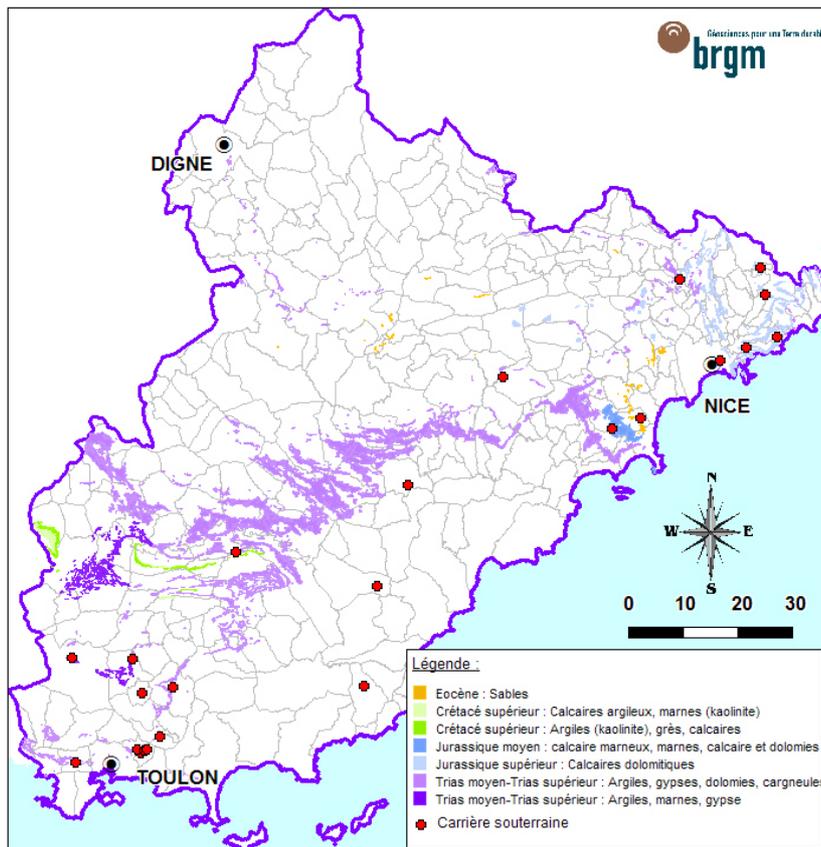


Illustration 40 : Localisation des formations géologiques susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines et positions des carrières souterraines abandonnées connues

### 5.4.3. Identification des formations susceptibles d'être affectées par des mouvements

Les formations susceptibles d'être affectées par des mouvements de type affaissement ou effondrement sont :

- les formations pouvant renfermer des cavités souterraines d'une part (origine naturelle : karst, ou anthropique : carrière souterraine) ;
- les formations meubles de surface reposant sur des formations pouvant contenir des cavités souterraines et sur lesquelles tout effondrement souterrain pourrait se répercuter. Ces formations susceptibles d'être affectées par des mouvements de type remontée de fontis depuis des cavités présentes en profondeur sont représentées pour l'essentiel par des terrains de couverture meubles dont la lithologie (marne, argile, alluvions, ...) est favorable à l'apparition d'affaissement, voire d'effondrements (Illustration 41).

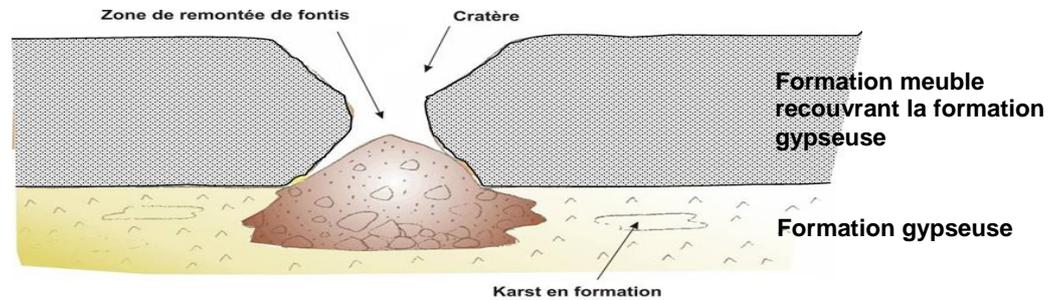


Illustration 41 : Exemple d'effondrement pouvant se produire dans une formation meuble recouvrant une cavité formée par dissolution de gypse

A l'échelle du 1/100 000, la délimitation des placages ou formations meubles masquant les formations calcaires karstiques, et susceptibles d'être le siège de soutirages, n'est pas possible pour des questions de résolution et parce que nombre de cartes géologiques ne les mentionnent pas. C'est donc la susceptibilité de présence de cavités naturelles au sein des formations calcaires affleurantes qui est représentée et non l'aléa sensu-stricto (probabilité d'effondrement).

### 5.4.4. Carte de l'aléa effondrement et affaissement liés à des cavités souterraines

Il convient d'insister sur le fait qu'à l'échelle de ce 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 (Illustration 42). La localisation des carrières souterraines connues étant des zones où il est certain que des effondrements peuvent se produire, elles sont reportées sur la carte. Cette carte figure en planche hors-texte (Cartes 7 et 8) à l'échelle 1/100 000.

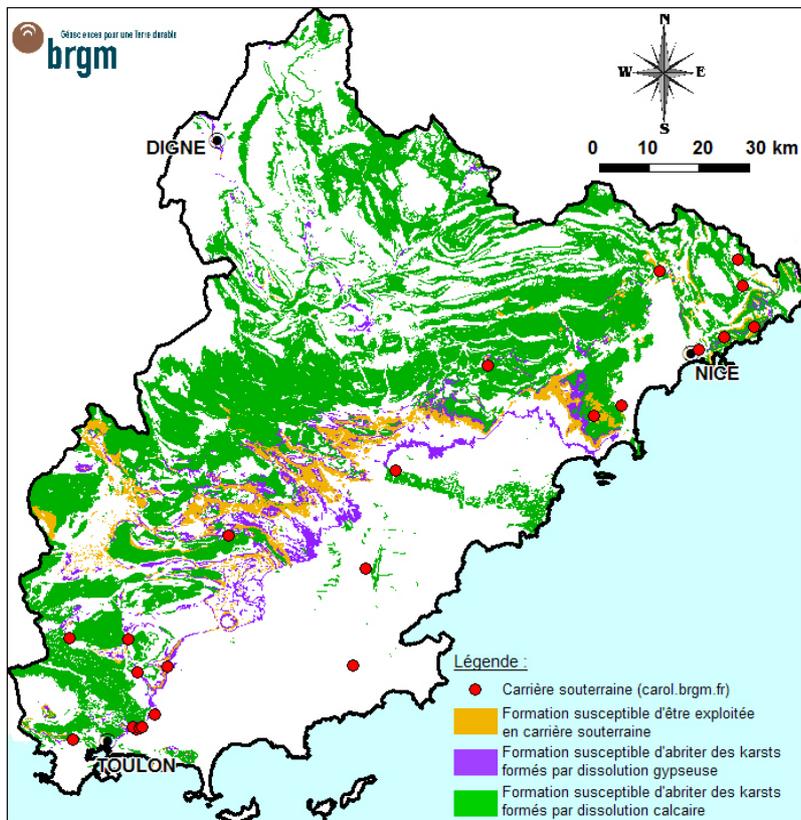


Illustration 42 : Carte de l'aléa affaissement et effondrement associés à des cavités souterraines

Finalement, la problématique « effondrement » concerne près de 41 % du territoire étudié, dont 3,5 % concernés par des formations susceptibles d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution de gypse, 4 % susceptibles d'avoir été exploitées en carrières souterraines et 33,5 % susceptibles d'abriter des cavités souterraines formées par dissolution de calcaire

#### 5.4.5. Comparaison des résultats avec la carte des vitesses linéaires issues de l'interférométrie radar différentielle

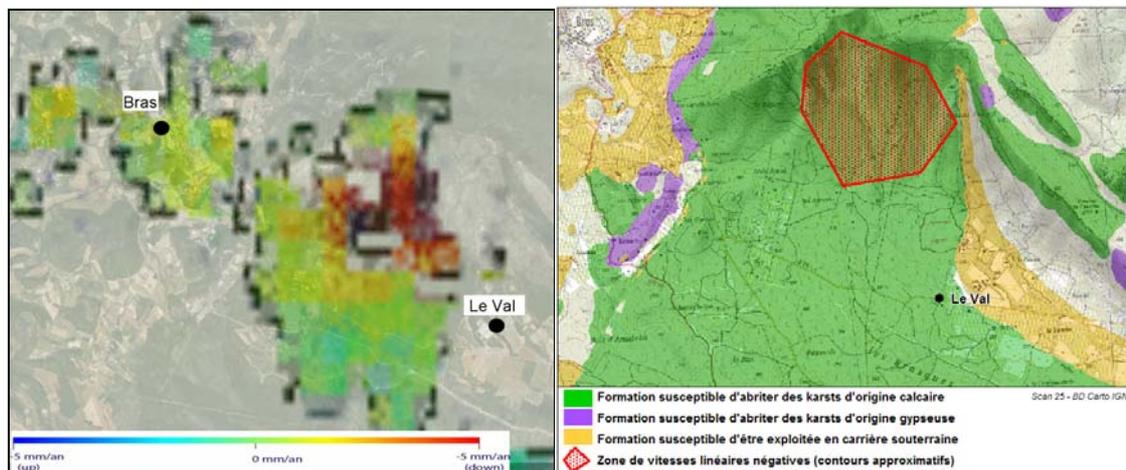
La carte d'aléa obtenue est comparée avec la carte générale des vitesses linéaires représentant les mouvements verticaux du sol (4.1.6 §3 et Illustration 20 et Illustration 21 page 75). L'attention s'est portée sur les zones en rouge ou orange foncé représentant les vitesses linéaires de subsidence les plus fortes. Les vitesses linéaires de subsidence témoignent de mouvements verticaux du sol qui peuvent avoir plusieurs origines : affaissement des terrains dus à la présence de cavités souterraines sous-jacentes, ou phénomène d'affaissement du à la présence de sols argileux en surface soumis au phénomène de retrait-gonflement des argiles. L'interprétation des zones rouges de la carte des vitesses linéaires est dans tous les cas à réaliser avec précaution.

Trois zones ont été étudiées plus attentivement :

- dans le Var : à l'ouest du bassin de risque de la Provence verte (autour de Bras) et au sud du bassin de risque Var Estérel (autour de Fréjus) ;
- dans les Alpes-Maritimes : autour de la commune de Grasse (bassin de risque Littoral ouest).

### **Zone de Bras (Provence verte)**

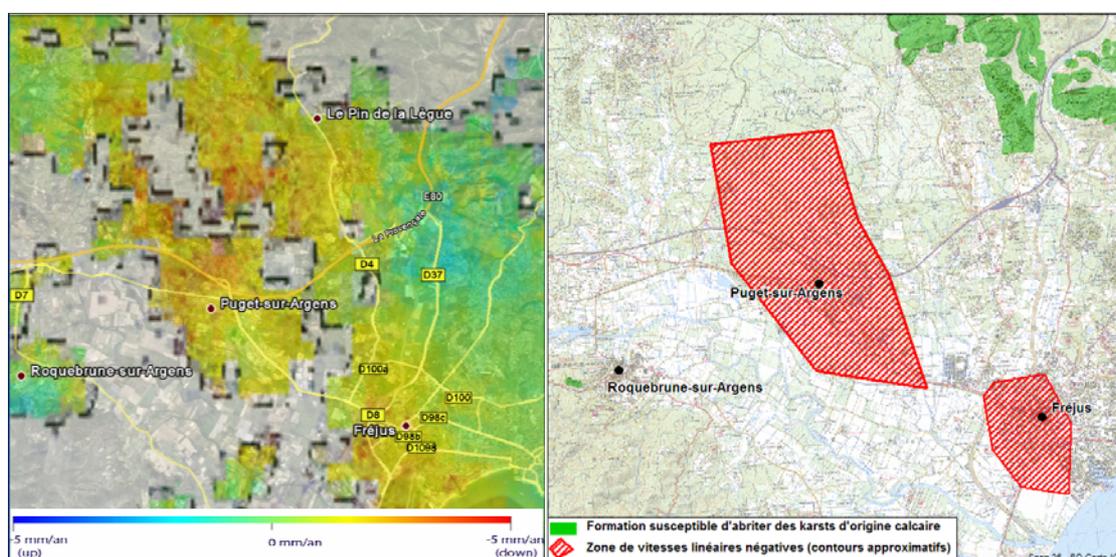
La carte des vitesses linéaires montre un pic de vitesses négatives entre Bras et Le Val, où les vitesses linéaires atteignent -5 mm/an (valeur issue de l'interprétation des images radar de 2002 à 2010). Lorsque l'on examine la carte d'aléa effondrement sur cette zone, on remarque que trois types de formations sont en présence : des formations susceptibles d'abriter des karsts d'origine calcaire ou gypseuse et des formations susceptibles d'avoir été exploitées en souterrains (Illustration 43). Les mouvements verticaux de subsidence indiqués par les valeurs négatives des vitesses linéaires pourraient être associés à des affaissements résultant de l'effondrement de cavités souterraines suffisamment profondes pour ne pas provoquer de fontis en surface, ou de faible ouverture. Ces phénomènes d'affaissements peuvent cependant être également localement annonciateurs d'effondrements si le foisonnement des terrains effondrés n'est pas suffisant à stopper la « montée de voûte ». La carte d'aléa effondrement est cohérente avec la carte des vitesses linéaires sur cette zone. Ceci est une première analyse, qui nécessite un approfondissement de la connaissance du risque d'effondrement sur cette zone afin de prévenir un éventuel évènement. À noter également la présence, d'après la carte IGN, d'une ancienne mine sur cette zone, présence confirmée sur la base de données Carol (<http://carol.brgm.fr>), qui témoigne de la présence de cavités souterraines anthropiques (galeries minières, puits...).



*Illustration 43 : Comparaison de la carte des vitesses linéaires avec la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 : en haut carte des vitesses linéaires sur la zone de Bras (visualisée sur Google Earth), en bas carte de l'aléa effondrement au 1/100 000*

### **Zone de Fréjus (Var Estérel)**

Au nord de Puget-sur-Argens et autour de Fréjus, l'analyse interférométrique donne des valeurs de vitesses linéaires négatives, allant jusqu'à près de -4 mm/an sur la période 2002-2010 (Illustration 44). Sur la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000, les formations géologiques affleurant sur ces zones ne sont a priori pas susceptibles de contenir des cavités souterraines. D'après la carte géologique, il s'agit de formations alluvionnaires quaternaires et de grès argileux du Permien. Si l'on s'intéresse au comportement de ces formations vis-à-vis du retrait-gonflement des argiles, on remarque que celles-ci sont soumises à ce phénomène puisqu'elles sont classées en aléa faible ([www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)). La subsidence observée ici pourrait plutôt être due à un phénomène de retrait des sols argileux, mais cela reste à vérifier en affinant l'analyse interférométrique à l'aide de séries temporelles permettant de comparer les épisodes pluies/sécheresses par rapport aux mouvements verticaux du sol.



*Illustration 44 : Comparaison de la carte des vitesses linéaires avec la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 : à gauche carte des vitesses linéaires autour de Puget-sur-Argens (visualisée sur Google Earth), à droite carte de l'aléa effondrement au 1/100 000*

### **Zone de Grasse (Littoral ouest)**

Dans les environs de Grasse, l'analyse interférométrique fait apparaître des valeurs de vitesses linéaires négatives allant de -1 mm/a à -3 ou -4 mm/a sur la période 2002-2010 (Illustration 45). Lorsque l'on compare avec la carte de l'aléa effondrement, on remarque que l'on est présence de formations susceptibles d'abriter des cavités d'origine naturelle (par dissolution de calcaire ou de gypse), ou d'origine anthropique (susceptible d'être exploitée en carrière souterraine). D'autre part, des effondrements se produisent de manière récurrente sur cette zone, la plupart du temps due à l'effondrement du toit d'une cavité gypseuse. Les résultats de la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 semblent donc cohérents avec l'analyse interférométrique qui montre un mouvement de subsidence sur cette zone (affaissement des terrains).

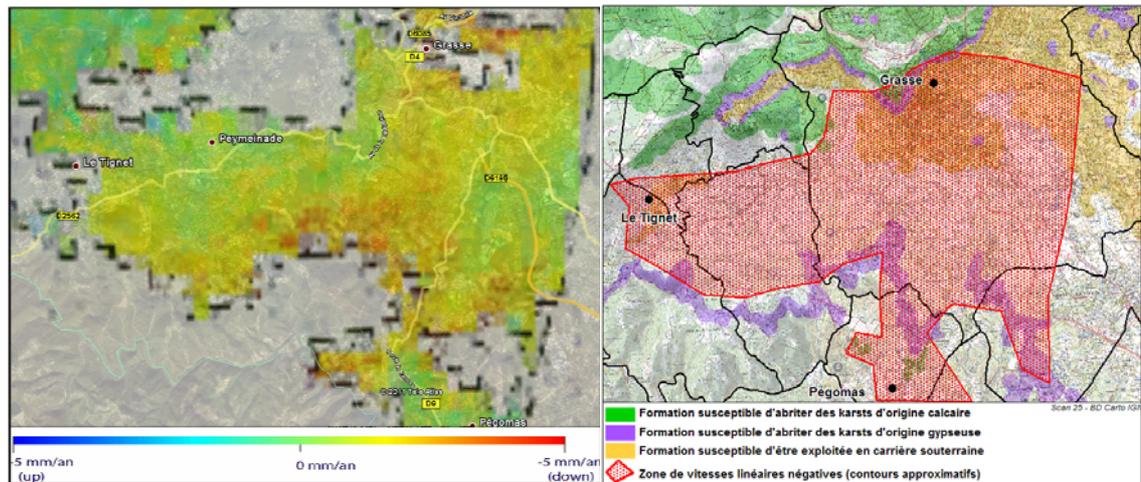


Illustration 45 : Comparaison de la carte des vitesses linéaires avec la carte de l'aléa effondrement au 1/100 000 : à gauche carte des vitesses linéaires sur la autour de Grasse (visualisée sur Google Earth), à droite carte de l'aléa effondrement au 1/100 000

## 5.5. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DE L'ALÉA MOUVEMENTS DE TERRAIN

L'aléa glissement de terrain a été combiné avec l'aléa chutes de blocs et éboulements pour produire une carte présentant ces deux aléas. Dans un deuxième temps, l'aléa « coulées » a été superposé à cette carte. La carte de l'aléa mouvements de terrain type chutes de blocs et éboulements, glissements de terrain et « coulées » est sur l'illustration 46.

Il a été décidé de ne pas faire figurer l'aléa effondrement et affaissement de cavités souterraines sur cette carte. Bien que dans certains cas l'effondrement d'une cavité peut engendrer des chutes de blocs ou des éboulements, de même que des glissements, le 1/100 000 n'est pas adaptée à leur rendu.

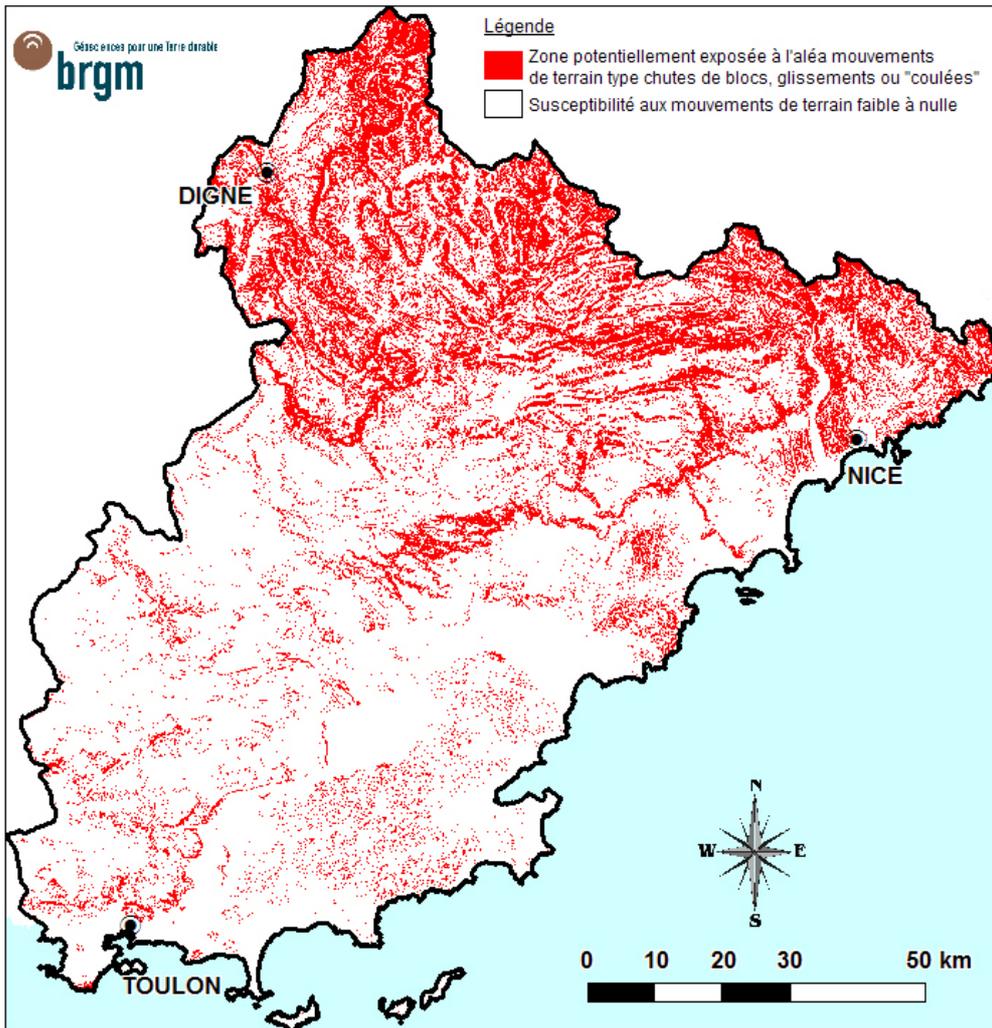


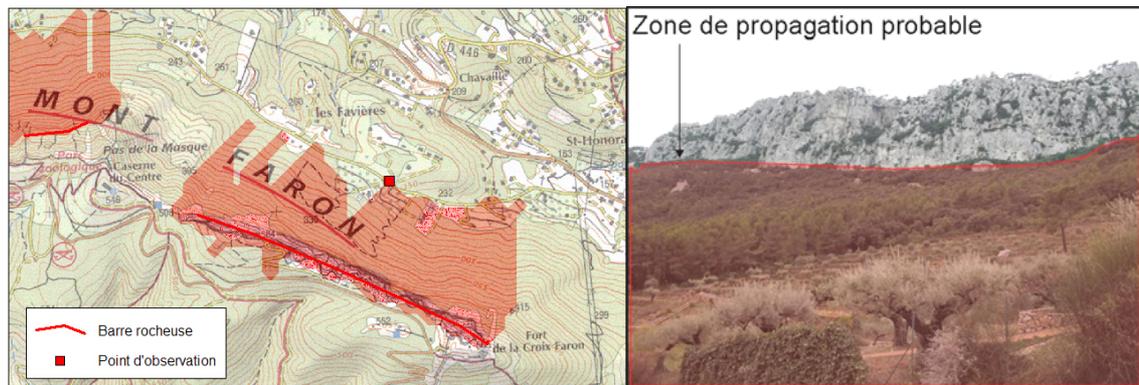
Illustration 46 : Carte synthétique de l'aléa mouvements de terrain, hors aléa affaissements et effondrements de cavités souterraines

## 5.6. VÉRIFICATION ET CORRECTIONS CARTOGRAPHIQUES

Les cartes des zones potentiellement exposées aux phénomènes type glissements de terrain et chutes de blocs et éboulements rocheux ont fait l'objet de vérifications sur le terrain afin de valider le tracé des contours obtenus par traitement S.I.G (Illustration 47).

Les zones probables 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 pu être corrigées, cependant, il se peut que des anomalies persistent localement.



*Illustration 47 : Vérification sur le terrain des résultats de la cartographie aléa chute de blocs et éboulement rocheux ; à gauche : point terrain et carte d'aléa, à droite : illustration terrain de la barre rocheuse et de la zone de propagation potentielle des produits de l'éboulement*

La Provence cristalline étant la dernière zone faisant l'objet de la cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain, une comparaison des cartes d'aléa obtenues sur les deux précédentes zones d'étude est réalisée : Provence calcaire et rhodanienne, Zone alpine. Les frontières entre les cartes ont été 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.

Les cartes finales d'aléa mouvements de terrain obtenues sur l'ensemble de la région, figurent dans le rapport de synthèse sur la cartographie régionale BRGM/RP-59584-FR (Rivet, 2011).



## 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 du risque suppose la prise en compte de la vulnérabilité. La notion de vulnérabilité exprime le niveau de dommages 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. A titre d'exemple, trois analyses du risque sont présentées dans cette étude en intégrant les zones à enjeux telles que les surfaces concernées par les aléas mouvements de terrain sur les bassins de risque, les communes et les linéaires routiers (routes et voies ferrées).

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

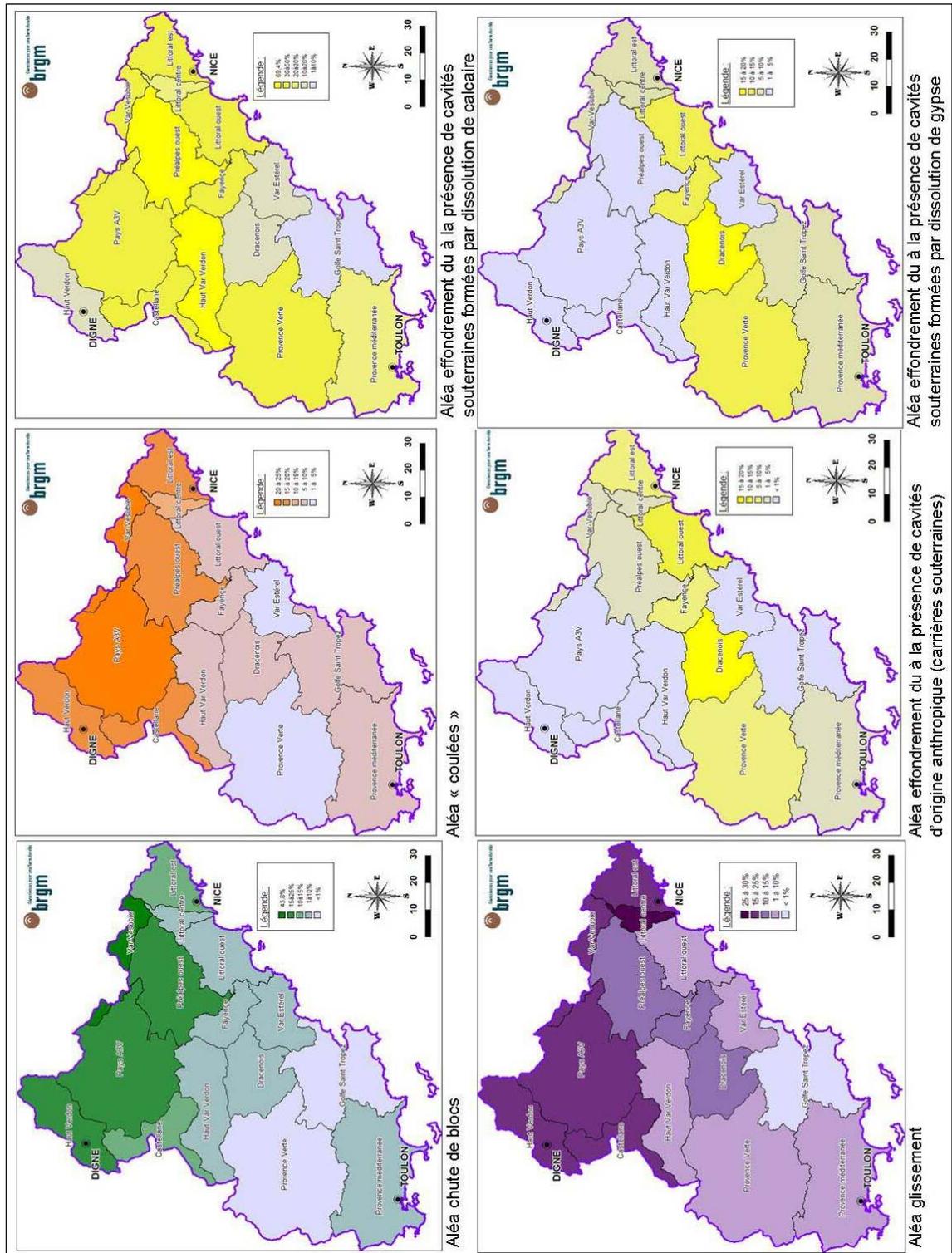
A partir des cartes d'aléa mouvements de terrain par phénomène (glissement, chute de blocs, « coulée » et effondrement et affaissement), on calcule par bassin de risque (cf. & 2.1) le pourcentage de surface concernée par chaque aléa (Illustration 48). Le nombre d'évènements recensés par bassin de risque dans le cadre de l'étude est également reporté dans ce tableau. Ces résultats sont repris sous forme cartographique (Illustration 49).

Nom du bassin de risque	Superficie en km <sup>2</sup>	Nombre d'événements	Nombre de glissements	Surface potentiellement exposée à l'aléa glissement (%)	Nombre de chutes de blocs	Surface potentiellement exposée à l'aléa chute	Nombre de "coulées"	Surface potentiellement exposée à l'aléa	Nombre d'effondrements	Surface susceptible de contenir des cavités d'origine gypseuse (%)	Surface susceptible de contenir des cavités d'origine calcaire (%)	Surface susceptible de contenir des cavités de type carrière souterraine (%)
Littoral centre	118,2	55	32	29,7%	14	5,0%	0	12,3%	9	1,3%	24,4%	2,3%
Haut Verdon	503,6	35	23	22,4%	11	22,0%	1	17,3%	0	0,7%	13,4%	0,1%
Var-Vesubie	206,6	70	19	19,6%	50	43,8%	1	22,9%	0	1,2%	49,6%	1,8%
Pays A3V	1323,5	35	21	19,5%	9	17,9%	4	20,5%	1	0,8%	38,6%	0,1%
Littoral est	384,4	372	196	18,9%	119	14,4%	32	15,8%	12	2,2%	39,5%	6,4%
Castellane	394,7	16	5	15,5%	11	14,7%	0	15,5%	0	1,0%	30,4%	0,3%
Préalpes ouest	820,7	95	51	14,1%	36	18,7%	2	18,3%	5	0,7%	60,3%	1,1%
Dracenois	535,8	80	29	10,8%	22	1,4%	4	5,3%	25	13,7%	15,4%	18,2%
Fayence	269,3	30	19	10,6%	1	3,0%	4	8,8%	6	8,2%	31,0%	7,7%
Littoral ouest	486,7	77	38	9,4%	29	2,3%	2	7,0%	6	7,3%	31,5%	10,2%
Var Estérel	401,9	6	5	3,7%	1	1,1%	0	5,0%	0	0,0%	17,4%	0,0%
Provence Verte	1575,2	51	18	2,5%	23	0,7%	3	2,3%	7	7,9%	42,5%	9,7%
Provence méditerranéenne	1128,8	138	67	2,3%	50	1,6%	3	5,1%	18	2,9%	23,1%	1,4%
Haut Var Verdon	645,5	15	8	2,0%	5	3,4%	0	7,9%	2	0,5%	69,4%	0,0%
Golfe Saint Tropez	887,5	46,0	13	0,6%	24	0,3%	4	5,8%	5	1,6%	1,6%	0,6%

Illustration 48 : Pourcentage de surface concernée par l'aléa glissement de terrain, chute de blocs et éboulement, « coulées », effondrements et affaissement par bassin de risque

Concernant l'aléa glissement de terrain, on remarque que les bassins de risque les plus touchés sont :

- le littoral centre : 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 : 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 trop 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.



surface concernée par un aléa mouvements de terrain de type glissement, chute de blocs, « coulées » et effondrement ou affaissement

- le Pays A3V et le Littoral Est avec respectivement 19,5 % et 18,9 % de leur surface cartée en aléa glissement. Les surfaces couvrent principalement les flyschs gréseux de l'Oligocène (grès d'Annot) et les éluvions issues de leur altération, qui affleurent sur de fortes pentes (comme par exemple sur Menton).
- à noter également les bassins du Dracénois et de Fayence, avec près de 11 % de leur surface couverte par l'aléa glissement, principalement localisé dans les formations hétérogène du Trias : argiles, gypses, dolomies, cargneules.

Concernant l'aléa chutes de blocs, on remarque que les bassins de risque les plus affectés sont situés à l'est de la Provence cristalline, où les reliefs sont les plus marqués :

- le bassin du Var-Vésubie avec près de 44 % de surface concernée. Les chutes de blocs voir parfois même des éboulements se produisant le long des gorges de la Mescla et de la Vésubie, caractérisées par d'imposantes falaises calcaires. Les itinéraires routiers empruntant ces gorges sont particulièrement exposés à cet aléa.
- le Haut-Verdon : 22 % de sa surface couverte par cet aléa localisé principalement sur les reliefs du nord formés par les formations calcaires du Crétacé et du Jurassique.
- les Préalpes ouest : 18,7 % en aléa localisé sur les reliefs calcaires qui forment des barres rocheuses d'orientation est-ouest.
- le Pays A3V et le bassin de Castellane avec respectivement 17,9 % et 14,7 % de leur surface cartographiée en aléa chutes de blocs. Les gorges du Verdon situées au sud de Castellane, creusées dans les formations calcaire du Secondaire, déterminent d'imposantes falaises calcaires le long desquelles les chutes de blocs et éboulements menacent directement la route départementale, itinéraire touristique très fréquenté.
- le Littoral Est : 14,4 % de sa surface concernée et localisée principalement au sud, le long des falaises littorales.

L'aléa chutes de blocs est moins étendu sur les autres bassins de risque, puisqu'il concerne moins de 4 % de leur surface.

De même que l'aléa chutes de blocs, l'aléa « coulées » couvre des surfaces plus étendues à l'est de la zone, où l'on se situe dans le domaine de la basse à montagne. Les produits d'altération couvrent les pentes qui peuvent être fortes, favorisant ainsi les écoulements de surface chargés en matériaux (boue, pierres...). A l'est, l'aléa « coulées » occupe 10 à 25 % de la surface des bassins de risque. Les autres bassins sont concernés sur 5 à 10 % de leur surface. Seule la Provence Verte et le Var Estérel sont relativement épargnés puisque moins de 5 % de leur surface est concernée par cet aléa.

L'aléa effondrement touche majoritairement les bassins de risque situés le long d'une bande latérale est-ouest. Sur ces bassins, les surfaces concernées par l'aléa sont largement urbanisées. On distingue :

- le bassin du Dracénois avec près de 14 % de sa surface susceptible de contenir des cavités formées par dissolution de gypse, 18,2 % susceptible de contenir des

cavités de type carrières souterraines et enfin 15,4 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution calcaire.

- le bassin de Fayence est également concerné par cet aléa. Sa surface est susceptible de contenir des cavités formées par dissolution de gypse à hauteur de de près de 8 %, des cavités de type carrières souterraines à hauteur de 8% et des karsts formés par dissolution calcaire à hauteur de 31 %.
- le bassin de la Provence verte : presque 8 % de sa surface susceptible de contenir des cavités formées par dissolution de gypse, près de 10 % susceptible de contenir des cavités de type carrières souterraines et 42,5 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution calcaire.
- enfin le Littoral Est avec 7,3 % de sa surface susceptible de contenir des cavités formées par dissolution de gypse, 10,2 % susceptible de contenir des cavités de type carrières souterraines et 31,5 % susceptible de contenir des karsts formés par dissolution 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 (Illustration 50).

Parmi les communes les plus concernées par l'aléa glissements de terrain, on note :

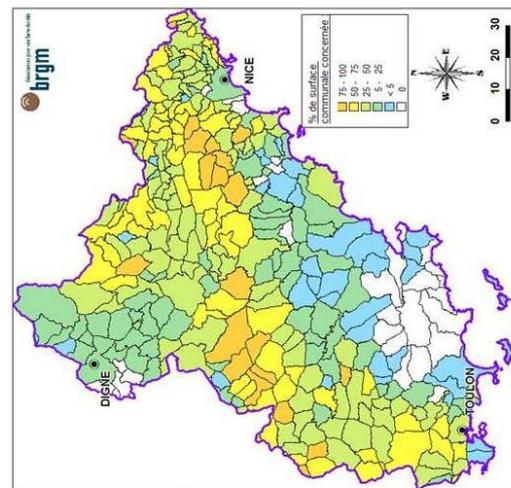
- Braux (Alpes de Haute-Provence) : 55 % de la surface communale
- Castagniers (Alpes-Maritimes) : 53,3 % ;
- Berres-les-Alpes (Alpes-Maritimes) : 51 %
- Colomars (Alpes-Maritimes) : 49 %

Concernant l'aléa chute de blocs, la majorité des communes les plus affectées sont situées dans les Alpes-Maritimes, dont quatre communes sur plus de la moitié de leur surface communale :

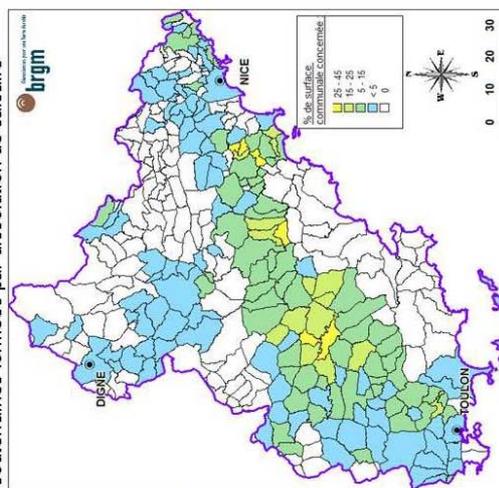
- Sigale : 59 % ;
- Malaussène : 58,5 % ;
- Duranus : 51 % ;
- Revest-les-Roches : 50,6 %.

Sur cinq communes, l'aléa « coulées » occupe entre 30 et 40 % de la surface communale :

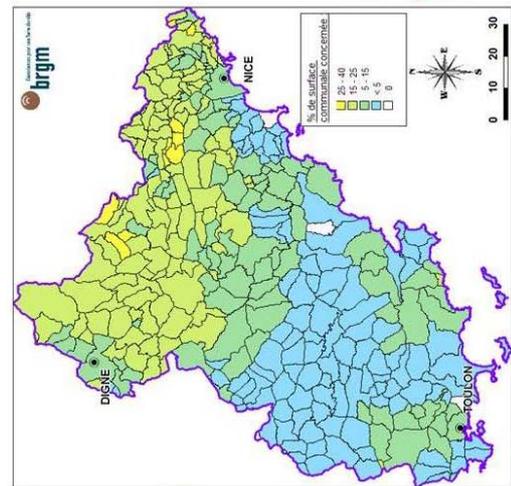
- Conségudes (Alpes-Maritimes) : 39 % ;
- Les Ferres (Alpes-Maritimes) : 37 % ;
- Roquesteron (Alpes-Maritimes) : 30 % ;
- Braux (Alpes de Haute-Provence) : 29,8 % et Sigale (Alpes-Maritimes) : 29 %.



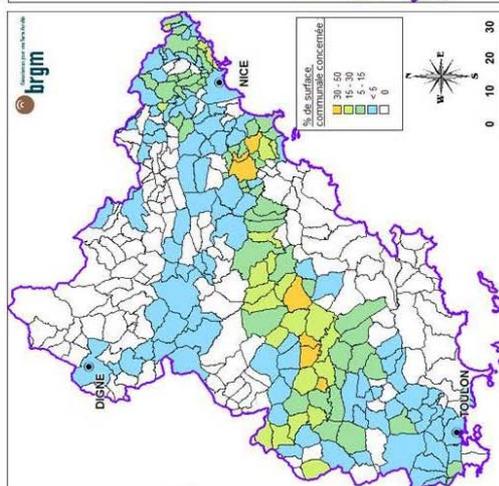
Aléa effondrement du à la présence de cavités souterraines formées par dissolution de calcaire



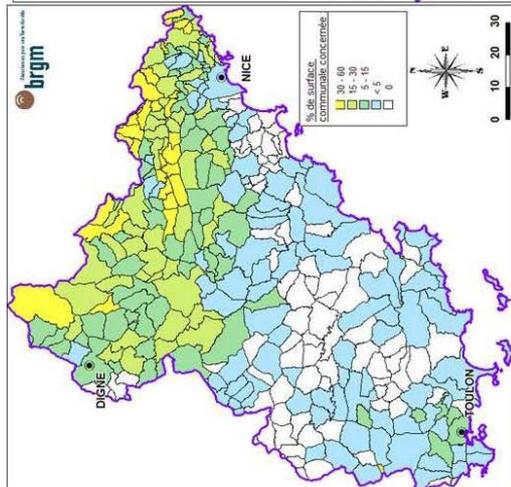
Aléa effondrement du à la présence de cavités souterraines formées par dissolution de gypse



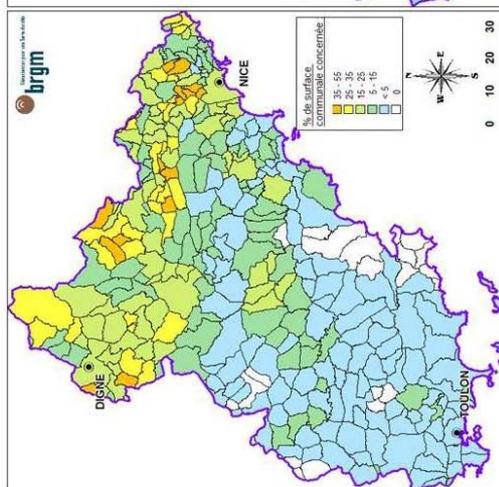
Aléa « coulées »



Aléa effondrement du à la présence de cavités d'origine anthropique (carières souterraines)



Aléa chute de blocs



Aléa glissement

concernée par l'aléa mouvements de terrain de type chute de blocs, glissement de terrain, « coulées » et effondrement

Cinq communes sont affectées sur plus de 25 % de leur surface communale par l'aléa effondrement lié à la présence de cavités souterraines formées par dissolution de gypse :

- Opio (Alpes-Maritimes) : 42 % ;
- Le Rouet (Alpes-Maritimes) : 38 % ;
- Mouans-Sartoux (Alpes-Maritimes) : 30 % ;
- Le Thoronet (Var) : 28 % ;
- Saint-Antonin-du-Var (Var) : 27 %.

Cinq communes sont affectées sur plus de 35 % de leur surface communale par l'aléa effondrement lié à la présence de formations susceptibles d'être exploitées en carrières souterraines :

- Chateauneuf-Grasse (Alpes-Maritimes) : 49 % ;
- Saint-Antonin-du-Var (Var) : 48 % ;
- Valbonne (Alpes-Maritimes) : 38 % ;
- Draguignan (Var) : 38 % ;
- Montfort-sur-Argens (Var) : 36 %

Cinq communes sont affectées sur plus de 25 % de leur surface communale par l'aléa effondrement lié à la présence de cavités souterraines formées par dissolution de calcaire :

- Artigues (Var) : 99 % ;
- Vérignon (Var) : 98 % ;
- Roquefort-les-Pins (Alpes-Maritimes) : 95 % ;
- Thiery (Alpes-Maritimes) : 94,6 % ;
- Cipières (Alpes-Maritimes) : 90 %.

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 plus fine du risque.

A titre de comparaison, il peut être intéressant de comparer ces résultats avec les quantités d'évènements recensés par communes :

- les glissements de terrain recensés sont les plus nombreux sur les communes de Menton (93 évènements), Toulon (31), Castagniers (12), Bendenjun (11) et Digne (11) ;

- les chutes de blocs recensées sont les plus nombreuses sur les communes de Utelle (28 événements), Eze (14), Menton (12), Malaussène (10), La Seyne-sur-Mer (9) ;
- les événements de type « coulées » recensés sont les plus nombreux sur les communes Menton (13 événements), Eze (4), Villefranche-sur-Mer (3), Tanneron (3), Nice (3) ;
- les effondrements ou affaissements liés à la présence de cavités souterraines sont les plus nombreux sur les communes de Draguignan (7 événements), Nice (7), Bargemon (5), Méounes-les-Montrieux (5), Le Luc-en-Provence (4).

Les différences observées entre ces deux analyses (surface communale concernée par l'aléa et nombre d'événements recensés par commune) s'expliquent principalement par : la non-exhaustivité du recensement ; la variabilité du comportement mécanique à l'intérieur d'une lithologie et la variabilité des éléments déclencheurs à l'intérieur de la région (principalement les causes générées par les précipitations).

#### 6.4. RÉSEAUX DE TRANSPORT ROUTIERS 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 » (Illustration 51, Illustration 52, Illustration 53, Illustration 54).

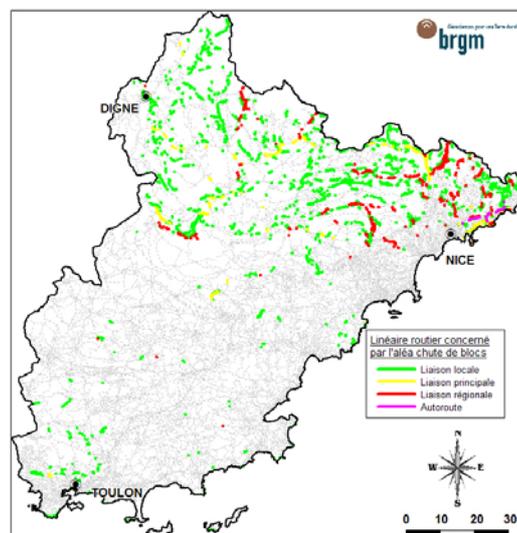


Illustration 51 : Tronçons routiers exposés à l'aléa chute de blocs

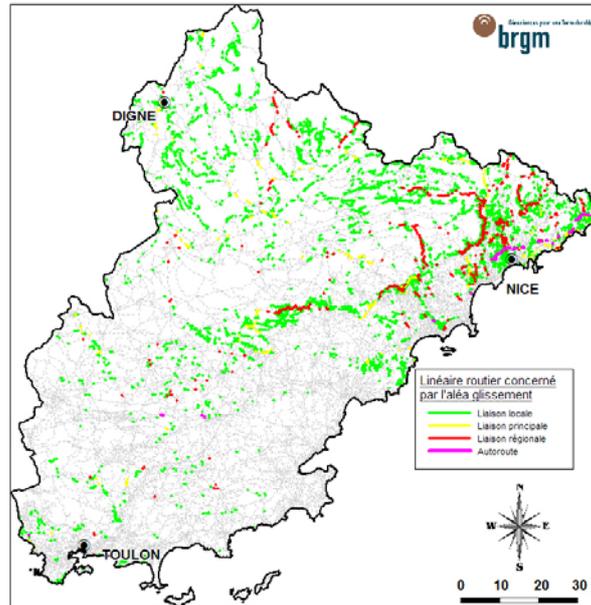


Illustration 52 : Tronçons routiers exposés à l'aléa glissement de terrain

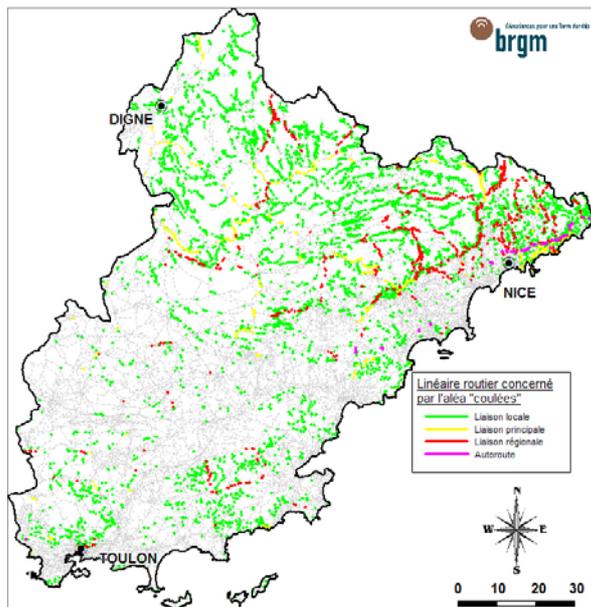


Illustration 53 : Tronçons routiers exposés à l'aléa « coulées »

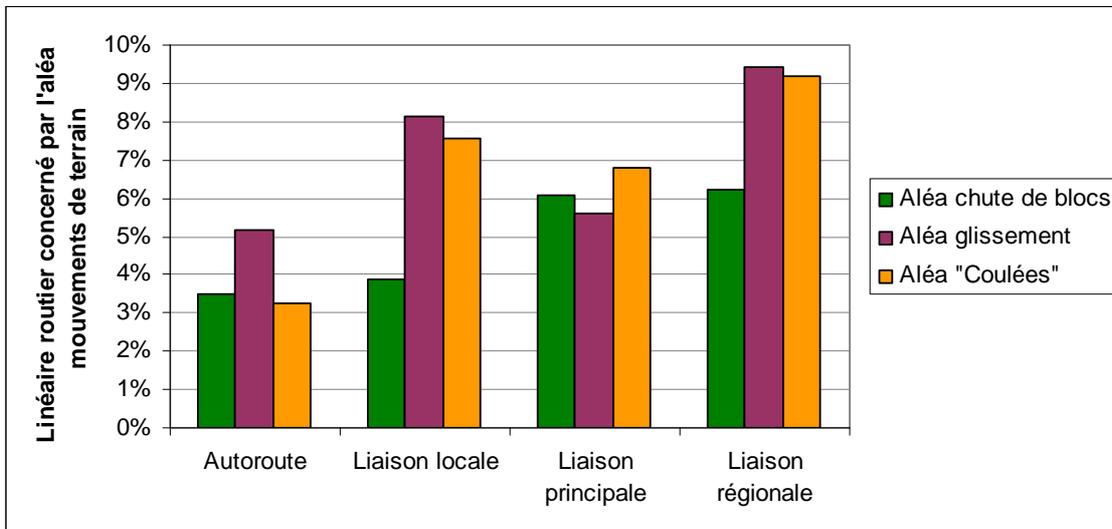


Illustration 54 : Pourcentage de linéaire affecté par type d'aléa mouvements de terrain (glissement, chutes de blocs et éboulements et « coulées ») et par type de réseau routier

L'analyse par entité routière (autoroute, route nationale, route départementale) permet une hiérarchisation des tronçons en terme de vulnérabilité. A partir de ces résultats, il apparaît que les réseaux sont exposés aux trois aléas. Les liaisons régionales sont particulièrement touchées par l'aléa glissement avec plus de 9% du linéaire touché.

L'intégration de données à l'échelle des tronçons routiers telles que les flux de trafic (en saison touristique par exemple) permettrait une hiérarchisation du niveau de risque et une évaluation des priorités d'action.

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 des risques liés aux mouvements de terrain.

## 7. Conclusion

Cette cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 s'intègre dans le IV<sup>e</sup> Contrat de Plan Etat-Région : « Risques naturels et nuisances, données, information, évaluation sur les risques naturels ». L'objectif est d'améliorer la connaissance sur le risque pour mieux le prévenir et le prendre en compte dans le cadre de l'aménagement du territoire.

Cette étude porte sur la zone appelée Provence et fait suite aux deux précédentes cartographies qui portaient sur les zones appelées Provence calcaire et rhodanienne et Zone alpine. Le travail réalisé a permis de faire un bilan des connaissances sur la problématique de l'aléa mouvements de terrain sur la zone, et de définir une typologie adaptée des mouvements de terrain susceptibles de se produire sur la zone d'étude. Il s'agit des phénomènes types glissements de terrain, chutes de blocs et éboulements, coulées boueuses et charriages torrentiels, et affaissements et effondrements liés à des cavités souterraines.

Différents critères ont permis de décrire précisément chacun des types de phénomènes, et d'en évaluer l'aléa associé. L'aléa défini est binaire : zones potentiellement exposée à l'aléa mouvements de terrain et zones à susceptibilité faible à nulle aux mouvements de terrain. Une validation sur le terrain et à partir des évènements recensés a été réalisée afin de corriger les grandes différences.

Une première analyse du risque est proposée en superposant les enjeux – vallées alpines, réseaux et communes – aux cartes d'aléa mouvements de terrain. Cette cartographie de synthèse permet de cibler les secteurs sensibles et fournit une aide à la décision pour l'établissement de programmes de cartographies préventives (carte d'aléa à l'échelle du 1/50 000 ou du 1/25 000) ou réglementaires (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 » intervenant dans 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 mises en évidence, et déboucher vers une approche déterministe du risque intégrant l'aléa local.

Cette dernière étude conclut le programme de cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain mené depuis 2007 sur la région Provence-Côte d'Azur.



## 8. Bibliographie

**Banque de Données du Sous-Sol (BRGM)**

**Base de Données Nationale Mouvements de Terrain** BRGM / LCPC / CETE / RTM : [www.mouvementsdeterrain.fr](http://www.mouvementsdeterrain.fr)

**Banque de données nationale des Cavités souterraines abandonnées en France métropolitaine "hors mines"** BRGM / INERIS / RTM : [www.cavites.fr](http://www.cavites.fr)

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

**Des Garets E., C. Mathon** (2001) – Cavités souterraines naturelles et anthropiques associées au gypse dans les départements des Bouches-du-Rhône et du Var – 223 pages, 81 figures, 6 annexes, 41 planches.

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

**Follacci J.P., Perez J.L.** (1979) - Notice explicative de la carte des zones exposées à des risques liées aux mouvements du sol et du sous-sol à 1/25 000 – Région de Saint-Etienne-de-Tinée, édition BRGM, 1 carte.

**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.

**Gounon A.** (1977) - Notice explicative de la carte des zones exposée à des risque liés aux mouvements du sol et du sous-sol à 1/20 000 – Région de Grasse (Alpes-Maritimes), édition BRGM, 1 carte.

**Gounon A., Allombert J.** (1989) - Carte des risques des Alpes-Maritimes (C.R.A.M.) - Feuille de Castellane 7-8 - Notice explicative. Edition BRGM, 1 carte.

**Gounon A.** (1989) – Carte des risques des Alpes-Maritimes (C.R.A.M.) - Feuille de Fayence 3-4 et Fayence 7-8 - Notice explicative. Edition BRGM, 1 carte.

**Gounon A.** (1989) – Carte des risques des Alpes-Maritimes (C.R.A.M.) - Feuille de Roquesteron 5-6 - Notice explicative. Edition BRGM, 1 carte.

**Malet J.-P.** (2003). Les glissements de type écoulement dans les marnes noires des Alpes du sud. Morphologie, fonctionnement et modélisation hydro-mécanique. Thèse de Doctorat soutenue le 12 décembre 2003 à l'Université Louis Pasteur-Strasbourg I, 364 p., 13 annexes, 162 figures, 31 tableaux.

**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., Mathon C.** (2004) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte d'Azur – Année 1 : Bilan des connaissances, définition des instabilités et qualification de l'aléa. Rapport BRGM RP-52829-FR.

**Marçot N.** (2006) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte d'Azur – Année 2 : Définition des enjeux sur le linéaire de falaises côtières, caractérisation et hiérarchisation des risques. Rapport BRGM RP-54316-FR. 72 p. 27 ill. 1 ann. 12 cartes hors texte.

**Marçot N., Azibi L. avec la collaboration d'E. Boucher** (2008) – Prise en compte de la problématique des risques liés aux falaises côtières dans l'aménagement du territoire en Provence-Alpes-Côte d'Azur – Année 3 : Etude de segments représentatifs, propositions d'aménagement et établissement d'une méthodologie pour réduire la vulnérabilité à l'échelle d'une commune Rapport BRGM RP-56090-FR. 129 p., 36 ill., 3 ann. et 1 document hors texte.

**Marçot N., Logeais P. avec la collaboration de C. Mirgon, M. Imbault** (2010) – Cartographie multirisque sur le Pays A3V (Asse Verdon Vaire Var) – Rapport RP-57794-FR, 223 pp, 124 Ill.

**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.

**Marçot N. (2010)** - Compte-rendu de Mission de terrain post intempéries du 15 juin 2010 dans le Var, 13 pages, 31 ill.

**Marçot N., de Michele M. avec la collaboration de F. Rivet (2011)** - Mise en évidence d'indices d'effondrements potentiels sur la zone de Draguignan (Var) suite aux intempéries du 15 juin 2010, par analyse interférométrie radar. Rapport final BRGM/RP-59323-FR - 69 pages, 39 Ill.

**Marçot N. avec la collaboration de P. Logeais (2011)** – Cartographie multirisque sur le Pays A3V (Asse Verdon Vaïre Var) – Rapport RP-59041-FR, 52 pp, 24 Ill.

**Meneroud J.P., Calvino A. (1976)** - Notice explicative de la carte des zones exposées à des risques liées aux mouvements du sol et du sous-sol à 1/25 000 – Région de la Moyenne-Vésubie (Alpes-Maritimes), édition BRGM, 1 carte.

**Nguyen.D. (2006)** – Inventaire des cavités souterraines naturelles des Bouches-du-Rhône, du Var et du Vaucluse – Rapport final. Rap. BRGM/RP-53977-FR, 25 p., 6 ill., 2 ann. dont annexe 2 sur cd-rom.

**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.

**F. Rivet (2011)** – Cartographie régionale de l'aléa mouvements de terrain au 1/100 000 – Synthèse. Rapport BRGM/RP-59584-FR, 107 p., 13 ill., 1 annexes, 3 cartes hors-texte.

**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.

**Terrier M. (2006)** - Identification et hiérarchisation des failles actives de la Région Provence-Alpes-Côte-D'azur : Phase 3 : Hiérarchisation des failles actives. Rapport BRGM RP-53930-FR, 216 p, 89 fig., 5 pl. hors texte, 1 annexe, 1 CD-Rom.

**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.



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

**Service géologique régional "PACA"**  
117, av. de Luminy  
BP168  
13276 – Marseille Cedex 09 - France  
Tél. : 04 91 17 74 77