

Phénomènes naturels en Baronnies

ROUSSELOT Adrien

Maitres de stages : Alexandre VERNIN

Fabrice FLAMAIN

Charles RONZANI

Table des matières

Table des Illustrations	3
Introduction.....	4
1. Contexte géologique	5
2. Le risque mouvement de terrain.....	8
2.1. Notion de risque et d'aléa	8
2.2. Définition	8
2.3. Classification des mouvements de terrains.....	9
2.3.1. Chutes de blocs et écroulements de masses rocheuses	9
2.3.2. Glissements <i>sensu stricto</i>	10
2.3.3. Ecoulements, coulées de débris, avalanches de débris, laves torrentielles	12
2.3.4. Erosion de berges	13
2.3.5. Subsidences, affaissement, tassements, effondrements.....	15
2.4. Les causes des glissements de terrain.....	16
2.4.1. Les facteurs conditionnants	16
2.4.2. Les facteurs déclenchants	16
2.5. Méthodes de suivi d'un phénomène naturel	17
3. Les glissements de terrains dans les Baronnie	19
3.1. Le glissement du Poët-en-Percip.....	21
3.2. Le glissement de Montclus.....	22
3.3. Les glissements de Montréal-les-Sources	23
3.4. La cuvette de la Motte-Chalancon	25
4. Le site pilote de gestion intégrée des risques naturels en Baronnie	27
Références bibliographiques	33
Annexes	34

Table des Illustrations

Figure 1 : Colonne lithostratigraphique de la période vocontienne.	6
Figure 2 : Carte géologique simplifiée du territoire des Baronnie Provençales.	7
Figure 3 : Blocs diagrammes des écroulements et chutes de blocs.	9
Figure 4 : Morphologie d'un glissement de terrain <i>sensu stricto</i>	10
Figure 5 : Les principaux types de glissements.	11
Figure 6 : Représentation schématique d'une coulée de masse.	12
Figure 7 : Le phénomène de fluage.	12
Figure 8 : Processus d'érosion de berges rencontré (a) en sol peu cohésif et (b) en sol cohésif.	14
Figure 9 : Processus de formation d'un effondrement.	15
Figure 10 : Bloc diagramme détaillé de la morphologie d'un glissement de terrain.	17
Figure 11 : Caractéristiques des principales méthodes de suivi des déplacements.	18
Figure 12 : Carte des glissements de terrains dans les Baronnie.	20
Figure 13 : Photographie de la commune du Poët-en-Percip, située à quelques mètres sous le glissement de terrain.	21
Figure 14 : Carte de localisation des glissements de terrains de la commune de Montréal-les-Sources.	23
Figure 15 : Photographie du glissement de terrain de 1886 depuis la route reliant Montréal-les-Sources à Sahune.	24
Figure 16 : Carte schématique du glissement de terrain de la Motte-Chalancon.	25
Figure 17 : Carte de localisation du glissement de Sainte-Colombe.	27
Figure 18 : Carte géologique du glissement de Sainte-Colombe.	28
Figure 19 : Vue du glissement de terrain de Sainte-Colombe depuis la route départementale au nord.	29
Figure 20 : Photographie de niches d'arrachement en « marches d'escalier » sur le flanc ouest du glissement de Sainte-Colombe.	29
Figure 21 : Photographies du glissement de Sainte-Colombe.	30
Figure 22 : Mise en œuvre et résultat du piquetage.	31
Figure 23 : Photographie aérienne de l'emplacement du glissement de terrain de Sainte-Colombe à l'été 2003.	32
Figure 24 : Photographie aérienne de l'emplacement du glissement de terrain de Sainte-Colombe à l'été 2006.	32

Introduction

Le territoire des Baronnies est compartimenté en vallées creusées par un important réseau de rivières (*du nord au sud, l'Oule, l'Eygues et la Blaisance, l'Ouvèze et le Céans, la Méouge, le Toulourenc, et enfin le Buëch à l'extrême est*). Il est par conséquent soumis à un certain nombre de phénomènes naturels dangereux, dont les plus dommageables sont les inondations, essentiellement des crues torrentielles, et les mouvements de terrain, glissements et chutes de blocs.

Ce rapport s'inscrit dans le cadre du développement du « *site pilote de gestion intégrée des risques naturels des Baronnies* ». Au départ, il était prévu qu'il s'agisse d'une étude complète des mouvements de terrain sur le territoire des Baronnies, mais un manque de temps et des difficultés d'organisation ont réduit le cadre de cette mission. Au final, l'accent a été mis sur l'aléa « *glissement de terrains* ». En plus d'une cartographie de ces phénomènes sur le territoire du futur PNR, il s'agissait de proposer sur un site test des méthodologies d'observation de ces phénomènes suffisamment simples pour qu'elles puissent être partagées à terme avec la population.

Une première approche a été de collecter les informations relatives au sujet via un travail de bibliographie. La majeure partie des risques recensés proviennent de la banque de données du BRGM (*Bureau de Recherches Géologiques et Minières*) et de la RTM (*Restauration des Terrains en Montagne*) des Hautes-Alpes. Dans le cas du phénomène choisi pour être le site pilote, le glissement de Sainte-Colombe, une reconnaissance de terrain est venue compléter les données bibliographiques.

1. Contexte géologique

Le massif des Baronnies provençales appartient aux chaînes alpines méridionales, c'est-à-dire à la couverture sédimentaire mésozoïque autochtone de la zone externe des Alpes occidentales.

Son histoire géologique est essentiellement crétacée et liée à la présence d'un bassin intra-cratonique correspondant à la marge septentrionale de la Téthys : le bassin vocontien. De la fin du Jurassique au Cénomanién, ce bassin est le siège d'une sédimentation pélagique localement affectée par des remaniements gravitaires. Ce bassin était limité par un talus se situant vraisemblablement au niveau de paléo-flexures et de paléo-failles (*arc de Castellane, axe Ventoux-Lure, Nord-Diois, Dévoluy*). Les limites ainsi définies sont restées pratiquement inchangées durant tout le Crétacé inférieur. Une zone péri-vocontienne ceinturait le bassin : elle correspondait à des aires de plates-formes carbonatées comprenant notamment le Jura, l'Ardèche et le Gard.

La série mésozoïque qui affleure dans les Baronnies est composée de la succession lithostratigraphique complète des étages compris entre le Bathonien et le Turonien, série à laquelle s'ajoutent des pointements diapiriques de Trias. Les formations crétacées, dont les termes inférieurs présentent partout le faciès pélagique dit « *vocontien* », forment la grande majorité des affleurements. Cette série sédimentaire est caractérisée par une alternance de formations marneuses et d'ensembles calcaires plus ou moins épais qui forment les principales lignes de crêtes de la région.

Cette série sédimentaire est la plus susceptible de générer l'aléa car elle participe au relief et affleure le long des pentes. Les terrains les plus récents, du Cénozoïque et du Quaternaire, affleurent généralement dans les parties basses à pente faible et ne génèrent pas d'aléas importants.

Deux types de terrains sont à distinguer dans la série Mésozoïque : les terrains « *durs* » et les terrains « *tendres* ». Les premiers génèrent des chutes de blocs et de pans de falaises, tandis que les seconds sont ceux qui produisent des glissements. Il arrive parfois qu'au sein d'un même faciès, des lits marneux soient intercalés avec des bancs calcaires massifs.

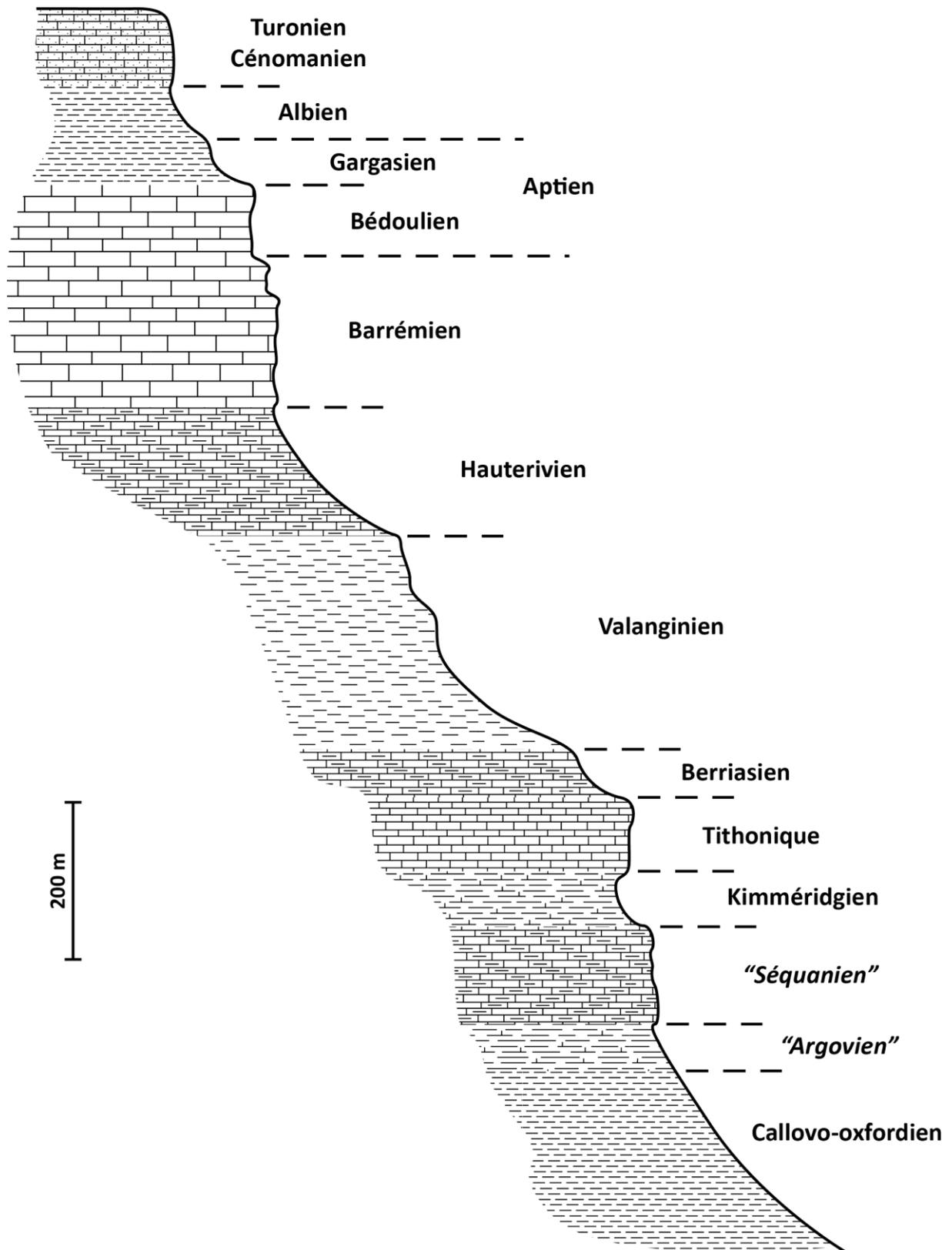


Figure 1 : Colonne lithostratigraphique de la période vocontienne.

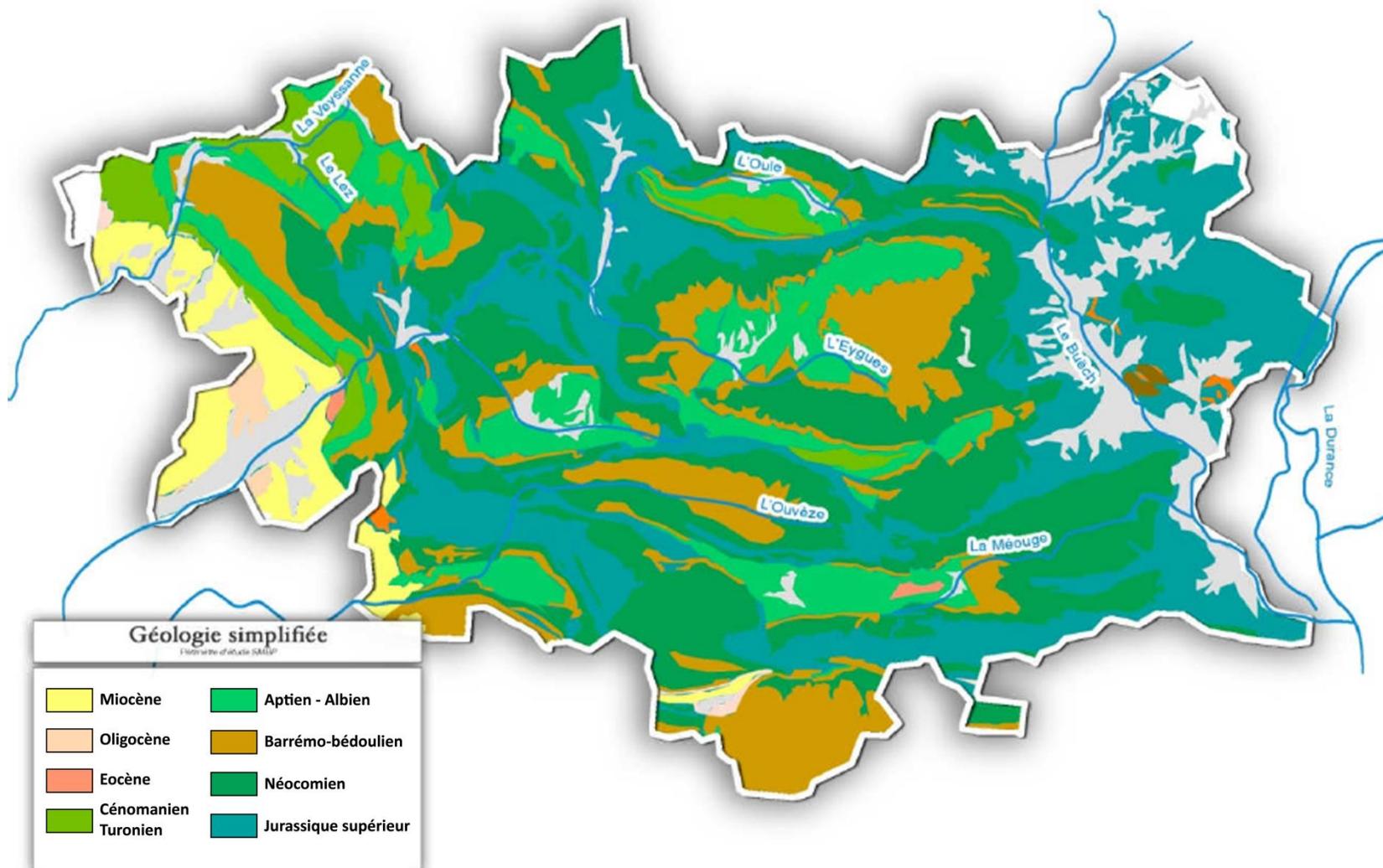


Figure 2 : Carte géologique simplifiée du territoire des Baronnies Provençales, d'après le Diagnostic territorial du projet de PNR des Baronnies Provençales, 2010.

2. Le risque mouvement de terrain

2.1. Notion de risque et d'aléa

Le concept de risque est un modèle théorique qui est la combinaison de deux autres concepts :

- l'aléa, qui représente la menace potentielle d'un phénomène naturel qui aura une certaine intensité, concernera un territoire donné sur une période de temps donnée ;
- les enjeux (ou la vulnérabilité), qui regroupent les valeurs humaines, économiques ou environnementales des éléments exposés à l'aléa et susceptible de subir des préjudices.

Un risque existe lorsqu'il y a une probabilité de survenance d'un événement susceptible de porter atteinte à des biens, des personnes et/ou des activités (THIERRY, DONZEAU, 1998). Il résulte de la combinaison de l'aléa et de la valeur des enjeux en un même lieu géographique.

Le risque est proportionnel à la vulnérabilité des enjeux.

$$\text{Risque} = \text{Aléa} * \text{Enjeux} * \text{Vulnérabilité}$$

2.2. Définition

Le terme de glissement désigne un phénomène géologique où une masse est entraînée par gravité le long le long d'un plan de glissement plus ou moins continu et plus ou moins plan ou incurvé. La gravité d'une instabilité de terrain est très souvent imputée à la présence d'eau dans les matériaux mobilisés. Ce facteur peut aussi bien agir dans le déclenchement comme dans le mode de propagation. La masse en mouvement conserve globalement sa consistance et sa physionomie au cours de son déplacement, cette caractéristique permettant de différencier les glissements de terrain des coulées de boue.

Les glissements de terrain ne sont qu'un type de mouvement gravitaire (ou mouvement de masse), pourtant, par analogie avec certains auteurs anglophones (*landslide en anglais*), on utilise parfois improprement le terme « *glissement de terrain* » pour désigner tous les mouvements gravitaires.

2.3. Classification des mouvements de terrains

2.3.1. Chutes de blocs et écoulements de masses rocheuses

Ces termes caractérisent les phénomènes rapides et extrêmement brutaux qui affectent des roches indurées et fracturées. Dans le cas des roches sédimentaires, la stratification accroît le découpage de la roche et par conséquent les prédispositions à l'instabilité. Parmi les facteurs naturels qui peuvent favoriser le déclenchement de tels phénomènes, citons les fortes variations de températures (*cycle gel/dégel*), la croissance de la végétation ou au contraire sa disparition ou bien encore les pressions hydrostatiques dues à la pluviométrie et à la fonte des neiges.

La distinction entre les chutes de blocs et les écoulements de masses rocheuses se fait sur la notion de volume de la masse en mouvement.

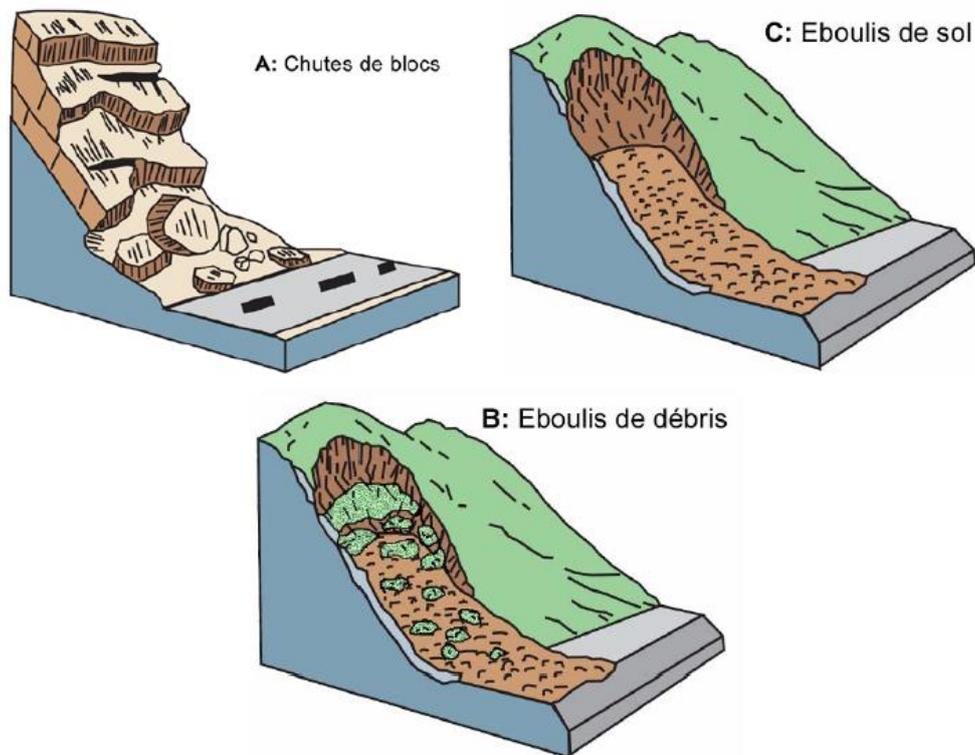


Figure 3 : Blocs diagrammes des écoulements et chutes de blocs.

Ces phénomènes sont très répandus dans les Baronnies, compte tenu du relief souvent abrupt. On les retrouve associés aux niveaux très indurés, comme les calcaires de la barre tithonique, du Barrémo-bédoulien et du Turonien.

Hors des falaises, les chutes de blocs peuvent également se produire dans des niveaux indurés peu épais au contact ou inclus dans des formations plus tendres. Même sur les pentes les plus faibles, il arrive que l'érosion, plus intense dans les faciès marneux, produise des surplombs par sous-cavage. La faible compétence des matériaux se traduit alors par une certaine désagrégation des blocs lors de l'écroulement. La zone de propagation potentielle est plus limitée que dans le cas des falaises calcaires, ce qui rend plus difficile l'identification dans ce cas.

2.3.2. Glissements *sensu stricto*

Ce sont des mouvements de masse lents induits par insuffisance de résistance au cisaillement sur une ou plusieurs surfaces de rupture généralement courbe ou plane. Cette ou surface, appelée surface de cisaillement, désigne une surface de séparation entre matériau en place et matériau en mouvement. Le mouvement peut être progressif et ne pas affecter simultanément la totalité de la surface de rupture.

Au sens strict, le glissement de terrain est un phénomène localisé qui produit des changements visibles le long des pentes : au sommet, on observe des surfaces d'arrachement, à forte pente et sans végétation, et, plus bas, des boursouffures irrégulières, des crevasses, des marches d'escalier, souvent avec des contre-pentes, des mares et des arbres inclinés vers l'amont. Les moteurs de ce mouvement sont le plus souvent des alimentations exceptionnelles en eau qui détériorent les caractéristiques mécaniques de la roche et génèrent des surcharges hydrauliques.

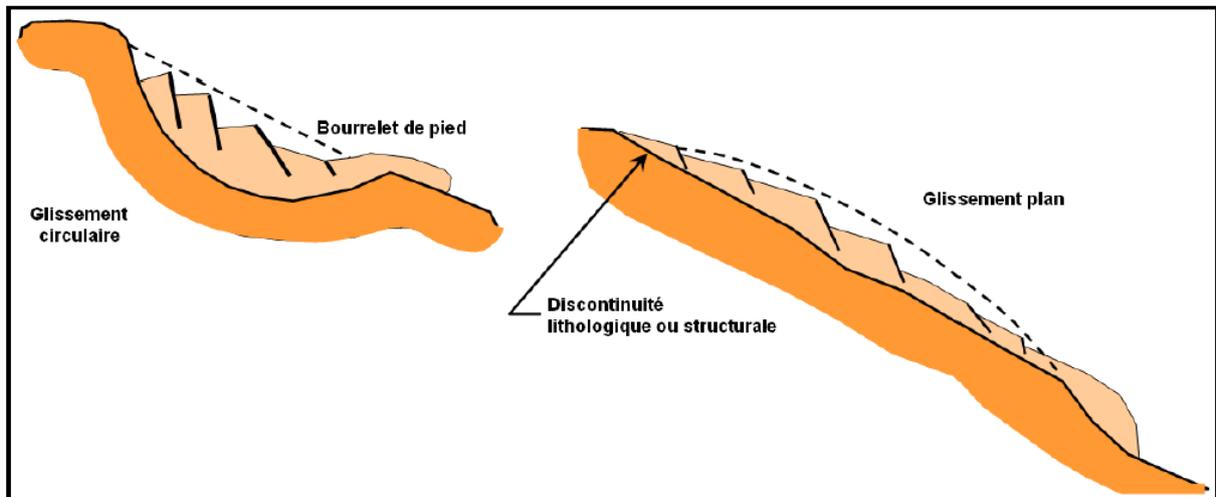


Figure 4 : Morphologie d'un glissement de terrain *sensu stricto*.

Sur le territoire de la zone d'étude, ces glissements prennent deux formes distinctes en fonction des faciès affectés :

- dans les marnes, ce sont des mouvements plus ou moins continus, qui sont marqués par l'apparition de fissures de traction concentriques, en tête, et par des bourrelets de pieds ;
- dans les formations complexes à caractère rocheux, ces phénomènes se traduisent par des mouvements proches des écroulements (*dynamique rapide*). Il n'y a que peu ou pas de prémices avant la rupture.

Selon la morphologie de la surface de rupture, les glissements en deux catégories, les glissements sont subdivisés en deux catégories :

- les glissements translationnels (*principalement dans les marnes*), dont la dynamique est généralement plus rapide et qui correspondent à un mouvement de masse évoluant long d'une surface plane très souvent contrôlée par la structure géologique du versant ;
- les glissements rotationnels (*formations complexes à caractère rocheux*), dans le cas où la surface de rupture présente une concavité orientée vers le haut. L'escarpement au niveau de la niche d'arrachement peut être relativement vertical. En amont de la niche d'arrachement, il peut apparaître des fissures de traction et une évolution régressive vers l'amont ou latérale du mouvement est possible.

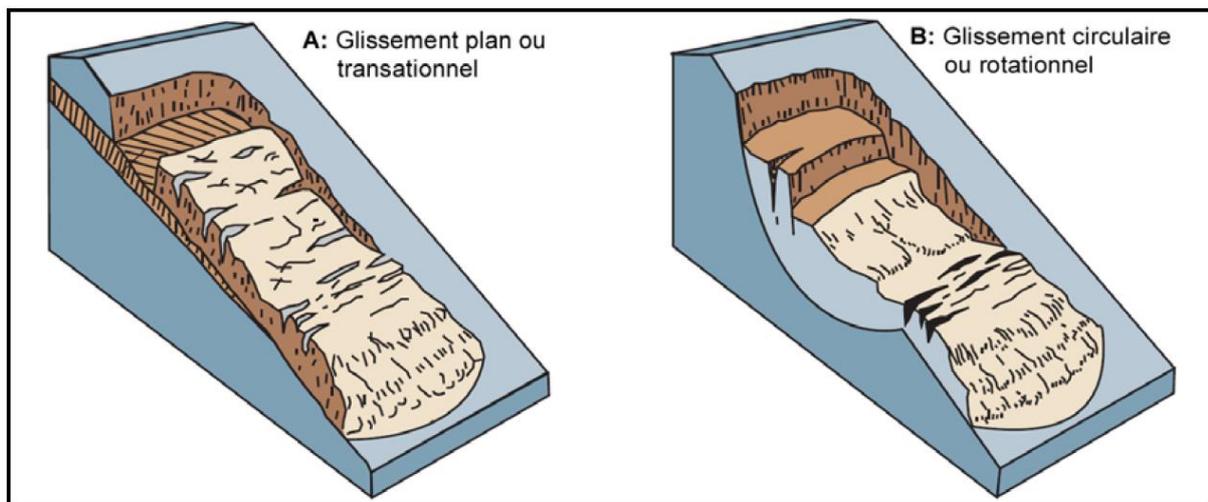


Figure 5 : Les principaux types de glissements.

Un second classement peut être effectué selon la profondeur de la surface de cisaillement. On distinguera ainsi :

- les glissements « *profond* », qui peuvent engager de grands volumes. Dans certains cas, lorsque c'est l'ensemble du relief qui est affecté, on parle alors de « *glissements de versant* ».

Ces glissements se déclenchent généralement au sein d'un même faciès dans des matériaux homogènes et cohérents. Ils sont souvent le résultat de la remise en mouvement de glissements anciens.

- les glissements superficiels, qui affectent les colluvions de pentes, les sols et les faciès d'érosion.

La quantité de matériau déplacé est généralement plus faible que dans les glissements profonds, mais ce type de mouvement peut évoluer en coulées boueuses si la quantité d'eau est suffisante et si la topographie s'y prête. De manière générale, on retrouvera ce type de phénomène sur les faciès susceptibles de générer une couverture de colluvions importante (*marnes et marno-calcaires, formations gréseuses*). Les terrains susceptibles de glissements profonds sont donc également concernés par ces phénomènes.

Mettant à nu le substratum souvent imperméable, les glissements superficiels peuvent favoriser la formation ou l'extension de zones d'érosion, les badlands.

2.3.3. Ecoulements, coulées de débris, avalanches de débris, laves torrentielles

Ces mouvements, que nous qualifierions également de coulées de masse, résultent de l'évolution des glissements et prennent naissance dans leur partie aval. Ils caractérisent des mouvements rapides d'une masse de matériaux peu ou pas consolidés toujours très chargés en eau. Sur de nombreux points, le profil de distribution des vitesses ressemble à celui d'un fluide visqueux. Ce type de mouvements de terrains se produit dans des milieux caractérisés par une pente importante, dans des terrains dont la cohésion est très faible.

Ils peuvent également affecter des masses rocheuses désagrégées ayant déjà subi plusieurs phases de glissements successifs.

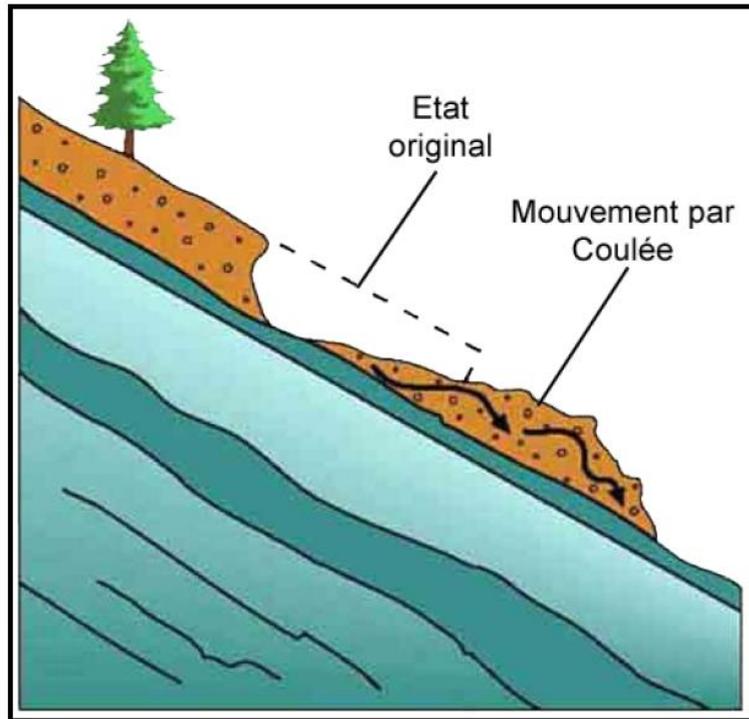


Figure 6 : Représentation schématique d'une coulée de masse.

Ces processus peuvent parfois être précédés de phénomènes de fluage. Il s'agit d'une déformation irrégulière se développant sur des pentes faibles, de faible vitesse et continue dans le temps évoluant sous une contrainte constante. Ce phénomène évolue de façon non perceptible, jusqu'à une accélération qui conduit à la rupture.

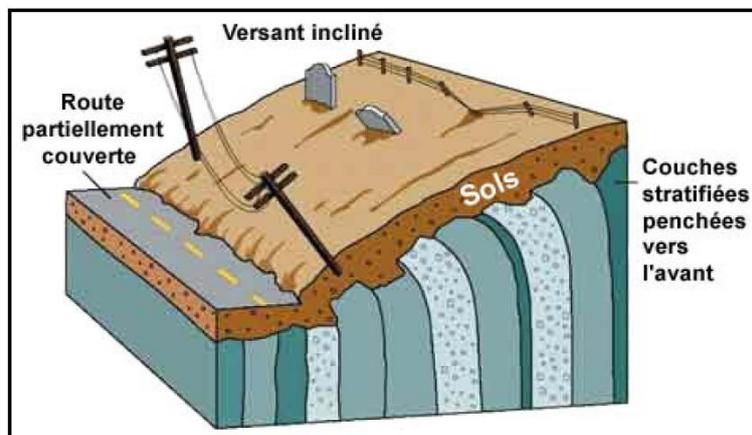


Figure 7 : Le phénomène de fluage.

La distinction entre les différents termes regroupés ici se fait sur la proportion de particules grossières contenues dans la masse en mouvement.

Indépendamment du type de matériaux constituant les versants et de la taille des grains, un autre type de mouvement est attribué aux écoulements : le phénomène de solifluxion. C'est un mouvement lent affectant des terrains superficiels meubles sur des pentes très faibles. La solifluxion peut s'étendre à des versants entiers, mais n'affecte généralement que de faibles épaisseurs.

2.3.4. Erosion de berges

Le processus qui conduit à l'érosion des berges combine le pouvoir érosif de l'eau et l'effet gravitaire.

D'un point de vue morphologique, on définit une berge comme « *une portion de terrain qui limite tout cours d'eau* ». Elle peut être divisée en deux parties :

- le pied de talus, qui est la zone « *soumise à l'action quasi permanente du courant et qui se situe sous le niveau moyen des eaux* » ;
- le talus, qui se situe au-dessus du niveau moyen des eaux.

Une érosion de berge est un phénomène régressif d'ablation de matériaux qui se manifeste lorsque la vitesse et la turbulence du courant surpassent le poids des particules et leur force de cohésion. Il existe plusieurs types d'érosion en fonction de l'agent à l'origine de la déstructuration de la berge, mais ceux dont l'action demeure la plus importante sont l'érosion maritime et l'érosion fluviale.

Tout ce qui modifie la direction d'écoulement du courant et augmente sa vitesse peut créer des foyers d'érosion. Ainsi, les obstacles dans le cours d'eau, le rétrécissement de la section du cours d'eau ou la force centrifuge sur la rive extérieure d'une courbe et la pente forte du cours d'eau sont autant de facteurs qui peuvent contribuer au phénomène d'érosion de berge.

Le glissement du talus survient lorsque les matériaux composant la berge ne peuvent plus résister aux forces gravitationnelles engendrées par l'affaiblissement du pied de talus. La cohérence du matériau constitutif de la berge est donc un facteur déterminant.

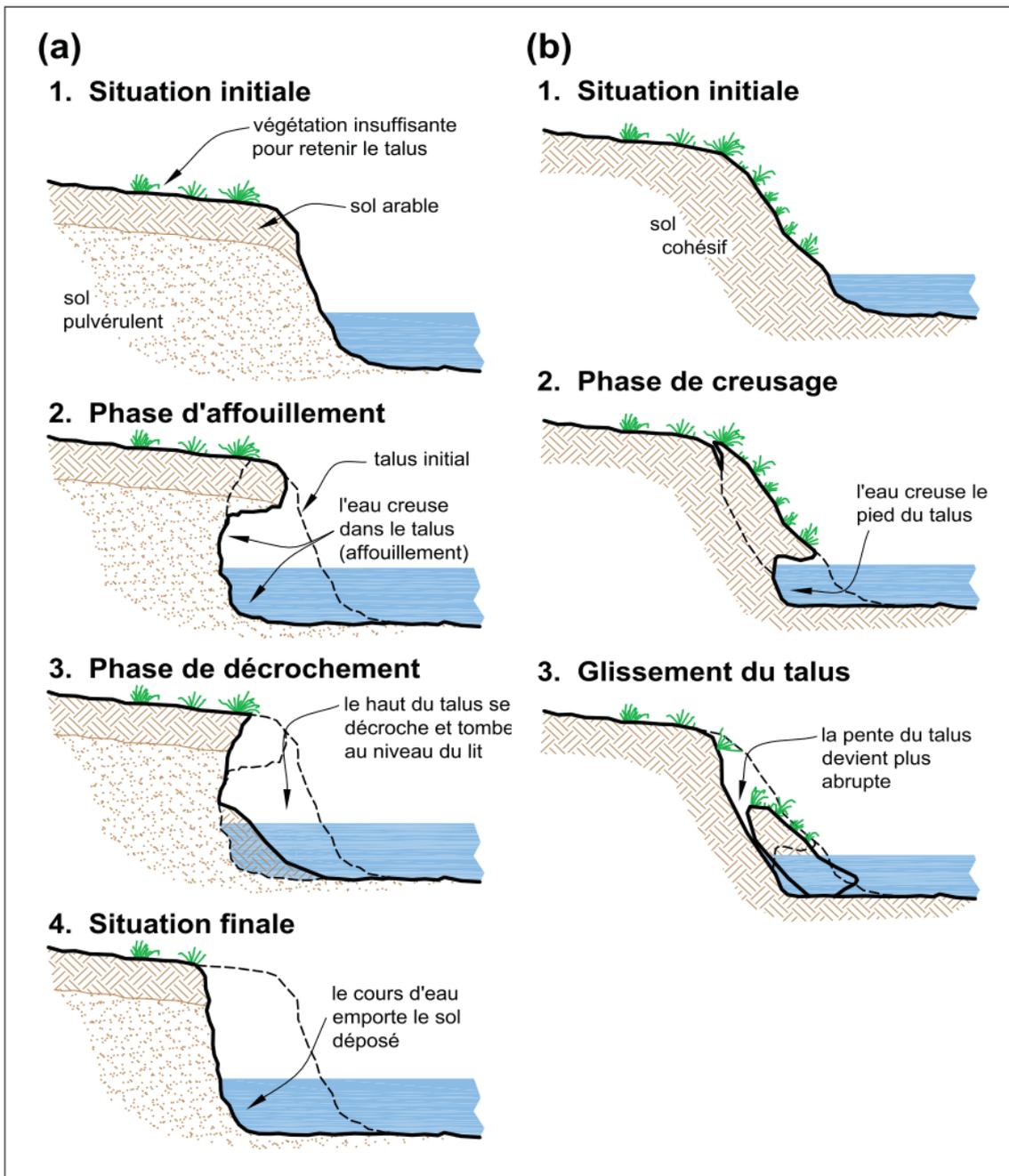


Figure 8 : Processus d'érosion de berges rencontré (a) en sol peu cohésif et (b) en sol cohésif.

2.3.5. Subsidences, affaissement, tassements, effondrements

Ces mouvements ont en commun une déformation verticale du sol qui a pour origine la présence de cavités souterraines d'origine naturelle (*phénomène de dissolution de la roche par l'eau*) ou anthropique (*pompage de la nappe phréatique, carrière souterraine*). La vitesse de déformation varie énormément, tout comme le milieu d'occurrence de l'événement. L'eau, soit par dissolution, soit par évolution du niveau piézométrique, a bien sûr un rôle moteur essentiel.

Les affaissements sont des dépressions topographiques en forme de cuvette dues au fléchissement lent et progressif du sol, sans ruptures apparentes de ce dernier.

Les effondrements se manifestent par des déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes. Ladite rupture se propage alors jusqu'en surface et détermine l'ouverture d'une excavation grossièrement cylindrique dont les dimensions dépendent des conditions géologiques, de la taille et de la profondeur de la cavité ainsi que du mode de rupture.

Dans les Baronnies, les problèmes d'effondrements et d'affaissements sont principalement liés à des phénomènes de dissolution dans les karsts calcaires. Les karsts peuvent se développer en cavités de grandes dimensions, favorisées par la présence d'une fracturation importante. Quand elles se situent à proximité de la surface, ces cavités peuvent être la cause d'affaissements (*si un recouvrement meuble amortit les mouvements*) ou d'effondrements. Les niveaux de calcaires massifs de la barre tithonique, du Barrémo-bédoulien et du Turonien sont donc particulièrement exposés à ce type de risques.

Le risque de formation de cavités souterraines par dissolution des couches de gypses du Trias n'est pas non plus négligeable.

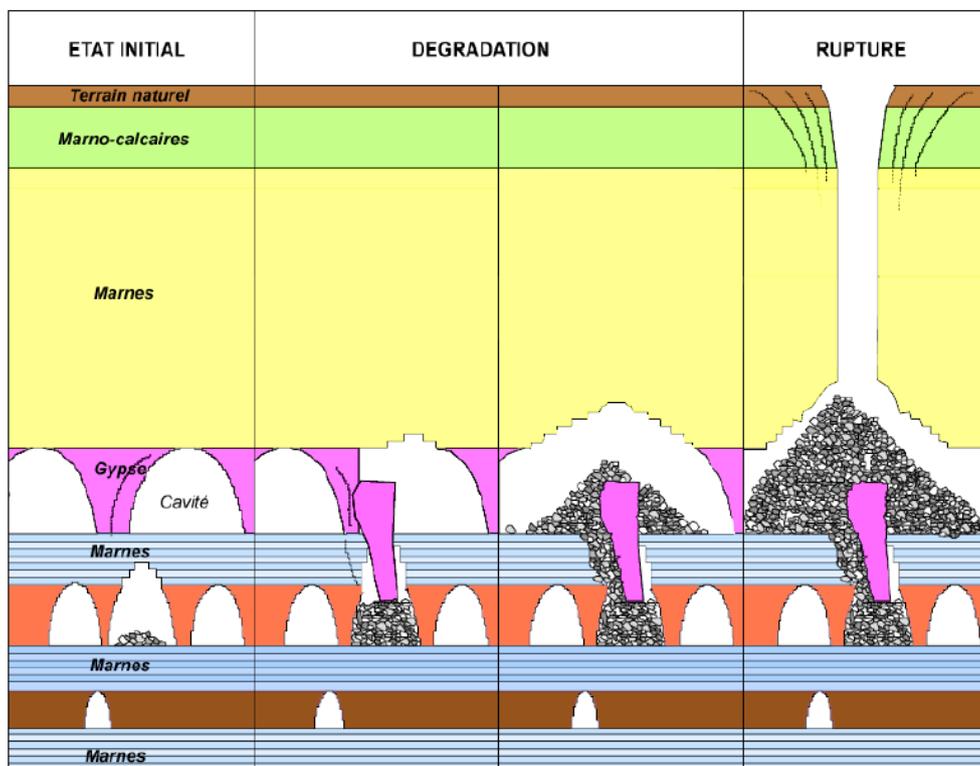


Figure 9 : Processus de formation d'un effondrement.

2.4. Les causes des glissements de terrain

Comme nous l'avons précisé plus haut, la nature géologique des terrains est l'un des principaux facteurs d'apparition de ces phénomènes, tout comme la pente. Si les matériaux affectés sont très variés, on retiendra que la présence d'argile en forte proportion est toujours un élément défavorable compte tenu de ses mauvaises caractéristiques mécaniques. La saturation des terrains en eau (*présences de sources, fortes précipitations, fonte des neiges brutales*) joue aussi un rôle moteur dans le déclenchement des glissements de terrains.

On distingue les facteurs conditionnants et les facteurs déclenchants.

2.4.1. Les facteurs conditionnants

Les facteurs conditionnants sont ceux qui déterminent les conditions de stabilité ou d'instabilité du versant. On peut classer dans cette catégorie :

- la lithologie, aussi bien par la nature des matériaux (*qualités mécaniques des roches*) que par la structure (*direction et pendage des couches, plans de schistosité*) ;
- la pente (*combinaison de la gravité et de l'appel au vide*) ;
- le relief, par sa composante altimétrique (*plus l'altitude augmente, plus le risque d'occurrence de mouvement de terrain est présent*) ;
- la proximité d'un réseau de drainage ou de résurgences ;
- l'activité tectonique, qui peut conditionner ou déclencher un mouvement de masse au niveau de la zone de broyage des failles.

2.4.2. Les facteurs déclenchants

Les facteurs déclenchants engendrent les mouvements par changements rapides des conditions du versant définies par les facteurs déterminants. On y retrouve :

- les précipitations, qui diminuent la résistance au cisaillement et en rendent les terrains gorgés d'eau plus plastiques, ce qui a pour conséquence directe le déplacement de la masse sous son propre poids ;
- la sismicité, qui peut provoquer de petits écroulements voire un véritable mouvement de masse à partir d'une certaine magnitude ;
- les cours d'eau et les résurgences, dont l'action érosive engendre souvent une déstabilisation des versants. L'action de l'eau peut être aussi de nature chimique lorsqu'elle entraîne une altération des matériaux (*oxydo-réduction, hydrolyse, dissolution*) ;
- le couvert végétal, qui exerce essentiellement une action stabilisante sur les versants. Son absence accélère l'effet érosif du ruissellement et des précipitations.

2.5. Méthodes de suivi d'un phénomène naturel

Afin de détecter et de déterminer la probabilité d'occurrence d'un aléa, plusieurs méthodes sont employées. Elles visent à repérer les facteurs défavorables (*géologiques comme morphologiques*) puis à réaliser des mesures sur les zones à indices de mouvement. Si l'on veut aller plus loin, l'utilisation de méthodes indirectes telles que la sismique et les sondages électriques ou radars permettent de conclure quant à la dangerosité de la structure étudiée (GRANSAC et MARSAC, 2013).

Les indices indiquant une zone susceptible de glisser ou qui a déjà bougé sont nombreux. On peut les catégoriser selon qu'ils se situent dans la zone de départ (*en amont*) ou dans la zone d'accumulation (*en aval*) d'un glissement de terrain. Dans la première, on pourra observer des niches d'arrachements (*failles extensives*), un affaissement en escalier des différents compartiments ou des arbres basculés. En aval, on observera plutôt des bourrelets frontaux et des zones de rétention d'eau dues à la contre-pente formée par les bourrelets.

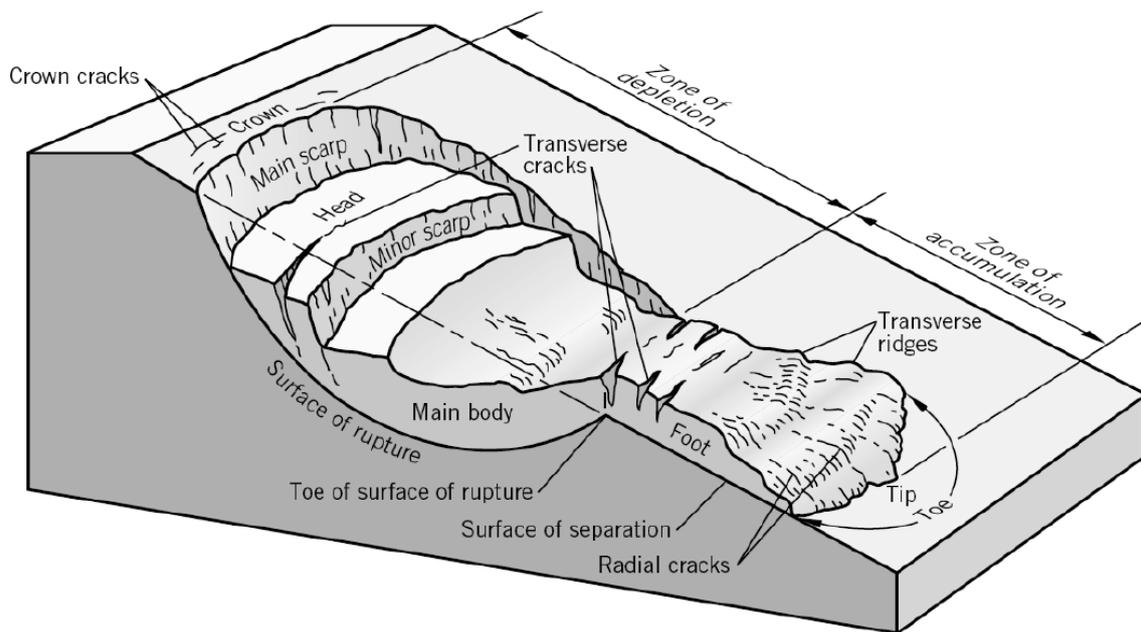


Figure 10 : Bloc diagramme détaillé de la morphologie d'un glissement de terrain et des indices de mouvement.

Une fois ces indices repérés, les sites instables sont instrumentés selon des dispositifs adaptés à l'intensité des phénomènes considérés et à la précision recherchée.

Ainsi, selon l'échelle considérée, on distinguera deux méthodes. La première consiste à comparer différents types de documents (*cartes topographiques, photographies aériennes, cadastres*) qui représentent un instantané d'un site à différentes dates. La seconde consiste à réaliser des mesures in situ des déplacements de surface. Dans ce cadre, il existe une grande variété de techniques, parmi lesquelles les fissuromètres ou extensomètres demeurent très utilisés puisqu'ils permettent d'atteindre des précisions de quelques millimètres sur des lignes de bases inférieures au kilomètre (MALET, MAQUAIRE, CALAIS, 2002).

Méthode	Utilisation	Etendue de mesure	Précision
Mesures ponctuelles			
Fissuromètre	déplacement angulaire en surface	< 20 mm	± 0,1 mm
Extensomètre à base courte	ouverture de fissures	25 – 450 mm	± 0,1 mm
Extensomètre à base longue en fil d'invar	déplacements de points mobiles	jusqu'à 100 m	± 0,5 mm
Niveau de chantier	variations d'altitude	variable	2 cm
(dGPS) GPS différentiel par campagnes	déplacements de points mobiles	variable	± 1 cm
(dGPS) GPS différentiel par installations permanentes	déplacements de points mobiles	variable	± 0,5 mm

Figure 11 : Caractéristiques des principales méthodes de suivi des déplacements, d'après DEPREZ A., 2010.

Parmi les techniques plus récentes, mentionnons le système GPS qui permet de mettre en évidence des phénomènes éphémères plus difficilement détectables par les techniques classiques de surveillance. Au cours des années 2000, ce système a été largement appliqué pour surveiller les mouvements de zones instables en complément ou en guise d'alternative aux méthodes conventionnelles pour les raisons suivantes :

- l'acquisition d'un grand nombre de données haute résolution avec un coût relativement faible et à une vitesse relativement élevée ;
- la surveillance de points relativement éloignés (*jusqu'à 20 km de distance*) sans réduction fondamentale de la précision des mesures ;
- la non-nécessité d'une ligne de vue directe entre la base et les points de surveillance ;
- la continuité des enregistrements, indépendamment des conditions météorologiques.

L'implantation de stations GPS permanentes permet d'améliorer la précision du positionnement et d'affiner l'échantillonnage temporel. La plupart des études utilisant ce mode de surveillance font référence aux études de Malet *et al.* (2000, 2002) sur le glissement-coulée de Super-Sauze (*Alpes-de-Haute-Provence*). Le suivi continu reste néanmoins plutôt rare. Cette seconde possibilité d'approche constitue l'atout majeur du GPS par rapport aux méthodes optiques. L'utilisation du GPS dans le suivi d'un glissement de terrain nécessite quand même de prendre certaines précautions :

- les cibles sélectionnées doivent refléter le comportement moyen de la zone environnante. Il n'est pas judicieux d'inclure des points qui présentent des mouvements propres (*rochers, pylônes électrique, formations superficielles*) ;
- il faut éviter les obstacles (*feuillage dense, bâtiments*) pouvant restreindre la réception du signal satellite et provoquer, par réflexion, des multi-trajets de ce dernier ;
- il est commode d'inclure dans le réseau de contrôle plusieurs points fixes à l'extérieur de la zone de glissement. Les mesures successives de ces points, qui doivent indiquer une position plus ou moins constante, mettront en évidence la fiabilité du réseau de surveillance en particulier la stabilité des points de base.

Malgré toutes ces qualités, le GPS ne peut être présenté comme une méthode alternative exclusive et, en pratique, l'utilisation en parallèle d'une ou plusieurs méthodes conventionnelle permet un apport d'informations complémentaires dans l'étude d'un phénomène naturel. Un des gros désavantages du GPS, par rapport à l'imagerie optique ou radar par exemple, est de ne fournir qu'une information ponctuelle d'un point de vue spatial.

3. Les glissements de terrains dans les Baronnies

Comme nous l'avons vu précédemment, la géologie de la région est principalement caractérisée par des alternances de faciès calcaires et marneux susceptibles de générer des aléas. Nous avons également mentionné que les glissements de terrains sont des phénomènes gravitaires lents favorisés par les infiltrations d'eau.

Sur le territoire du futur PNR des Baronnies Provençales, ces infiltrations d'eau sont alimentées par les précipitations, mais également par les très nombreuses résurgences qui se produisent au contact des calcaires et des marnes (THIERRY et DONZEAU, 1998).

Les eaux de pluies s'infiltrent dans les calcaires perméables (*majoritairement ceux de la barre tithonique*) en utilisant le réseau de diaclase, puis sont emprisonnées au contact des marnes imperméables du Callovo-oxfordien. Cette différence de perméabilité est à l'origine des résurgences : ces sources, souvent invisibles, se déversent alors dans le manteau d'éboulis calcaires recouvrant les marnes et s'y accumulent, constituant une nappe aquifère. Lorsque le poids de la nappe d'eau devient trop important, les colluvions sont déstabilisées, initiant des glissements dits « *superficiels* ».

D'autres sources, visibles celles-ci, se trouvent à la limite inférieure des colluvions de pente, là où l'arrivée à l'affleurement des marnes imperméables force l'eau à ressortir. Ces circulations d'eau altèrent et finissent inévitablement par déstabiliser les marnes, initiant alors des glissements de terrains beaucoup plus profonds qui peuvent affecter l'ensemble du versant (THIERRY et DONZEAU, 1998 ; GRANSAC et MARSAC, 2013).

Ces phénomènes sont reconnaissables à leur morphologie en courbe et replat avec une surface de glissement appelée loupe ou rampe de glissement et un bourrelet à la base. De plus, la portion de terrain qui a glissé laisse place à une pente concave, encadrée de part et d'autre par deux pentes convexes. Il est intéressant de noter que ce phénomène est souvent le résultat d'une remise en mouvement d'anciens glissements stabilisés.

La carte située ci-après a été réalisée à la suite d'une étude bibliographique des bases de données du BRGM et de la RTM et recense l'ensemble des glissements de terrains du territoire des Baronnies Provençales.

Ci-après sont présentés quatre sites remarquables du territoire des Baronnies. Le glissement de Sainte-Colombe sera présenté à part dans la quatrième partie de ce rapport.

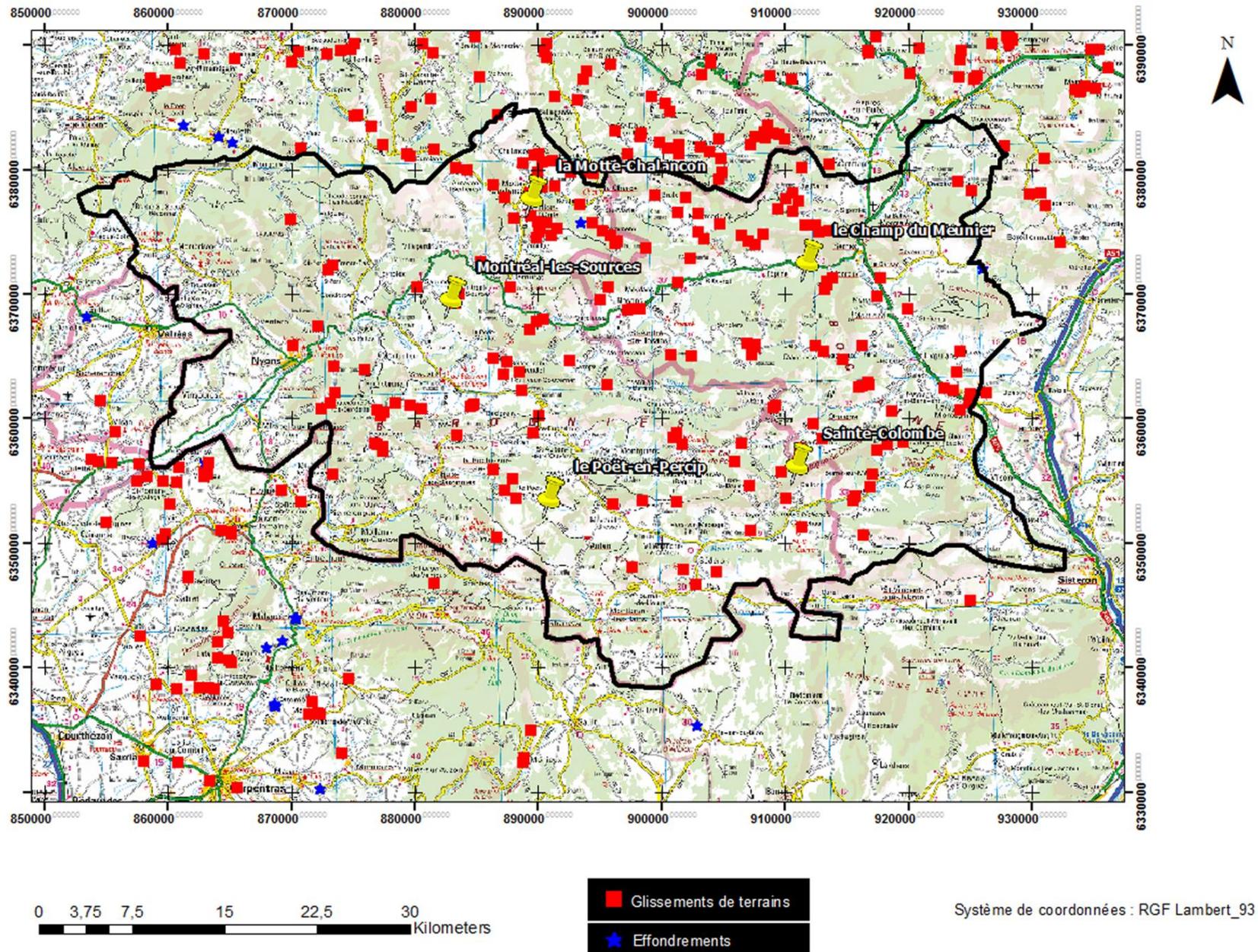


Figure 12 : Carte des glissements de terrains dans les Baronnies.

3.1. Le glissement du Poët-en-Percip

Coordonnées : X 890950.4 ; Y 6353503.2

Commune(s) : Poët-en-Percip

Situé à l'est de la Roche-sur-le-Buis, le Poët-en-Percip est surplombé d'un glissement de terrain considérable, de 500 m de large sur 250 m de hauteur pour un dénivelé estimé à 40 m. Il est possible d'y observer très nettement la présence d'une loupe de glissement et du bloc glissé et basculé en contrebas. Les reliefs générateurs de ce glissement sont très caractéristiques et présentent de part et d'autre de la zone glissée des pentes convexes, tandis qu'au milieu de celles-ci se trouve une pente concave. Cet aspect en « creux » tient au fait qu'une partie massive du relief s'est détachée et a glissé sur la roche plus tendre pour arriver en contrebas tout en se basculant. Ce basculement provoque la formation d'un bourrelet, caractéristique des zones de glissement de terrain.

La partie glissée surplombant la petite commune semble cependant stabilisée puisqu'elle repose sur une topographie relativement plane et que la végétation qui l'a envahie aide à la stabilisation de cette masse.

La crête du Poët-en-Percip est constituée d'un faciès marno-calcaire à dominance calcaire (*Berriasien*) très fracturé. Elle repose sur les formations marno-calcaires plus tendres de l'Hauterivien et du Valanginien. La crête est globalement orientée E-W et appartient au flanc sud du synclinal de Mévouillon.



Figure 13 : Photographie de la commune du Poët-en-Percip, située à quelques mètres sous le glissement de terrain, d'après GRANSAC et MARSAC, 2013.

3.2. Le glissement de Montclus

Coordonnées : X 912104.7 ; Y 6372657.2

Commune(s) : Montclus

Le glissement de terrain du Champ du Meunier s'est déclenché le 8 janvier 1994 et affecte les calcaires barrémo-bédouliens de la terminaison orientale du synclinal de Rosans. Ce mouvement de terrain, qui menace toujours un hameau de 10 habitations, s'inscrit dans un contexte de précipitations particulièrement abondantes au cours de l'hiver 1993-1994.

Cet épisode climatique a atteint son paroxysme lors des pluies orageuses de la nuit du 6 au 7 janvier 1994. Ces pluies hivernales, si importantes soient-elles, ne sont pas exceptionnelles et ne constituent pas la seule cause du glissement de terrain du Champ du Meunier. En effet, en milieu méditerranéen, les eaux des pluies intenses saturent rapidement les sols et ruissellent plus qu'elles ne s'infiltrent, provoquant surtout des crues et des inondations. Cependant, les données climatiques montrent que les années 1989 à 1992 ont été particulièrement sèches, et le déficit hydrique a affecté les nappes en profondeur. Le dessèchement s'est propagé dans les pores des roches, provoquant la fragilisation des roches et l'ouverture de fentes de dessiccation. C'est cette augmentation de la porosité des roches, conjuguée avec l'action cumulée et durable des précipitations de l'hiver 1993-1994, qui a favorisé l'infiltration et le développement de nombreux glissements de terrain comme celui du Champ du Meunier.

Le glissement s'est produit sur le dos de la couche des calcaires barrémiens affectés d'un pendage moyen de 25° vers le S-SW. Les bancs calcaires sont parfois séparés par des interlits marneux incompetents qui ont pu favoriser le glissement. L'ensemble est partiellement recouvert d'une formation de pente constituée de colluvions résultant de l'altération et du broyage des roches en surface.

Le premier rapport de gendarmerie indique que le glissement de terrain avait envahi la chaussée, isolant de ce fait le hameau. Des fissures sur les bâtiments et sur les terrains en arrière du village sont également rapportées. L'ensemble de ces observations a abouti à l'évacuation du hameau jusqu'à la fin du mois de janvier pour des raisons de sécurité.

Depuis, le site est donc surveillé et visité régulièrement par divers organismes, dont la RTM. Aucun signe de réactivation du mouvement n'a encore été détecté.

Le versant affecté est un ancien terrain agricole : on y trouve encore les traces d'un canal qui drainait les eaux de ruissellement en provenance de la partie amont du versant. On peut donc aussi s'interroger sur le rôle de la déprise rurale, en particulier sur les conséquences de l'abandon de ces pratiques ancestrales qui avaient sans doute pour vocation de lutter contre les risques naturels.

3.3. Les glissements de Montréal-les-Sources

Le village de Montréal-les-Sources se situe dans un vaste vallon creusé dans les marnes callovo-oxfordiennes, sur la rive sud de l'Égues, au niveau de Sahune. Tout autour, les crêtes sont formées par les calcaires plus ou moins indurés du Jurassique supérieur. Cette disposition, très commune dans les Baronnies, est particulièrement propice au déclenchement de phénomènes de mouvements de masses, ainsi qu'expliqué précédemment. L'érosion de la barre calcaire entraîne la formation de colluvions de pentes qui viennent recouvrir les marnes et favorisent l'accumulation des eaux. La sursaturation de cette couverture et les résurgences situées à sa base peuvent initier des glissements superficiels ou plus profonds.

Plusieurs phénomènes ont ainsi été recensés dans le val qui abrite la commune de Montréal-les-Sources.



Figure 14 : Carte de localisation des glissements de terrains de la commune de Montréal-les-Sources.

Le premier est situé au nord-est (*point n°1 sur la carte, X 883664.40 ; Y 6369898.01*) et date de 1886. D'après les données du BRGM, ce glissement a été précédé d'un effondrement de la falaise calcaire. Des dommages sur les structures ont été recensés, sans plus de précisions, mais aucune victime. Ce mouvement de terrain est encore visible depuis la route reliant Montréal-les-Sources à Sahune.

Un second glissement de terrain (*point n°2 sur la carte, X 883386.55 ; Y 6369180.90*) s'est déclenché en novembre 1951 au sud-est du village au lieu-dit « *Champ d'aziage degoutal* ». D'après le rapport d'observation effectué quelques jours plus tard par un maître de conférences de l'ENS d'Hydraulique de Grenoble, la région du glissement se compose, topographiquement et géologiquement, de trois parties. On distingue, de haut en bas :

- une zone supérieure formant un replat, suivi au nord d'un abrupt où affleurent les marnes. Vers l'ouest, ces mêmes marnes sont recouvertes d'éboullis importants ;
- un replat intermédiaire cultivé et fertile ;
- une pente douce terminale avec des vergers.

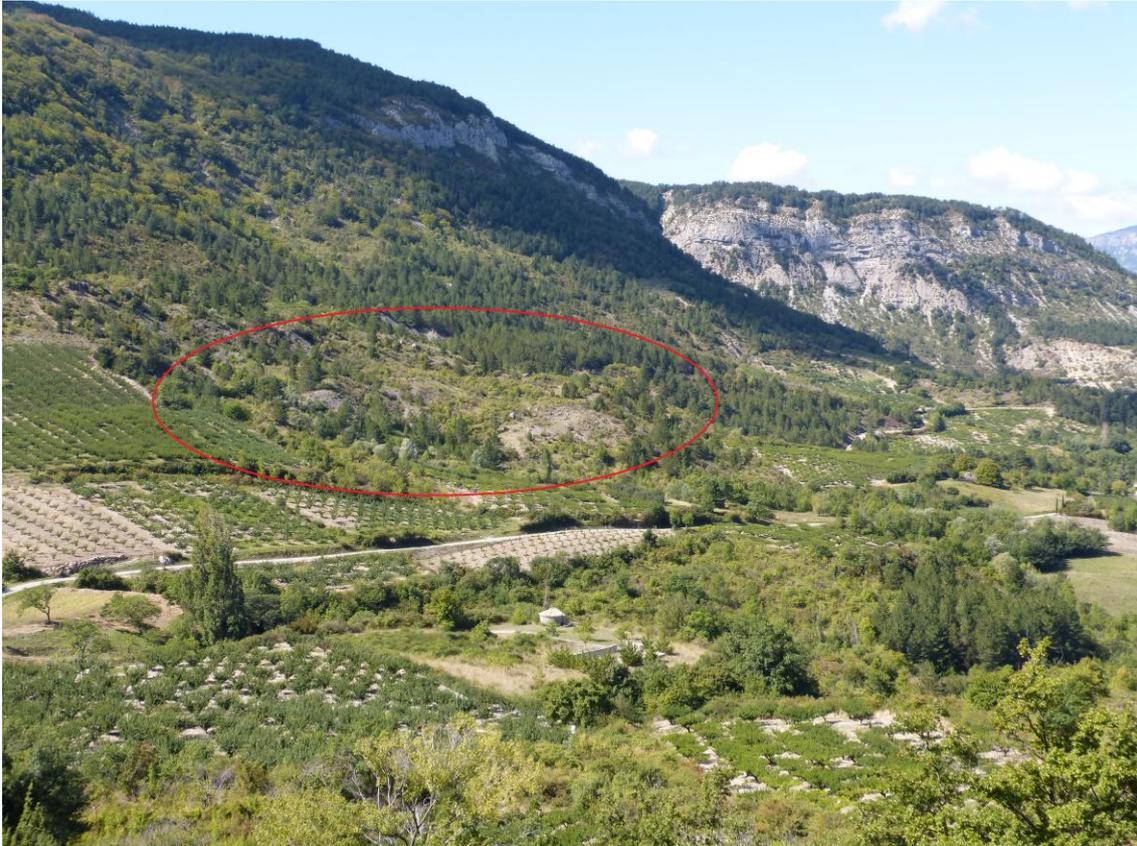


Figure 15 : Photographie du glissement de terrain de 1886 depuis la route reliant Montréal-les-Sources à Sahune.

Cette disposition préalable très caractéristique est à l'origine du glissement, les résurgences situées à la base des éboulis de la partie amont ayant profondément altéré les marnes sous-jacentes. Un événement pluvieux particulièrement intense survenu au mois de novembre aura ensuite précipité le déclenchement du glissement. Ce mouvement, qui aurait mobilisé plus de 100 m³ de roches, s'est donc propagé depuis l'amont vers l'aval, le glissement une fois amorcé ayant entraîné une partie des marnes sous-jacentes. Ce déplacement de matière est venu surcharger le replat cultivé qui, gorgé d'eau s'est lui-même mis en mouvement. Il ne s'agit cependant pas là d'une coulée boueuse, mais « *d'une masse de terrain plastique homogène décollé du substratum rocheux [...]* ».

Ce glissement de terrain, s'il n'a pas menacé directement les habitations, a entraîné la rupture de la conduite d'eau qui alimentait le village à l'époque. Une nouvelle source, située à l'amont du départ du glissement, fut utilisée en remplacement.

Trois autres glissements de terrain, à l'ouest du village, ont été recensés entre 2002 et 2010. Ces mouvements, de plus faibles amplitudes que les deux premiers, n'ont pas occasionnés de dégâts majeurs, à l'exception de quelques fissures dans les murs de certaines habitations.

3.4. La cuvette de la Motte-Chalancon

Vaste dépression de marnes callovo-oxfordiennes entourée par des crêtes calcaires de Tithonique, la cuvette de la Motte-Chalancon a été le théâtre de nombreux glissements de terrain.

Le plus récent, le glissement du Vayeux, fut provoqué par les fortes pluies de 1957. Très facilement observable, il présente un cirque d'effondrement au sommet, un goulet étranglé entre les zones protégées par la végétation, et un large cône de déjection qui barra quelques temps la rivière (DAUMAS, LAUDET, 1992).

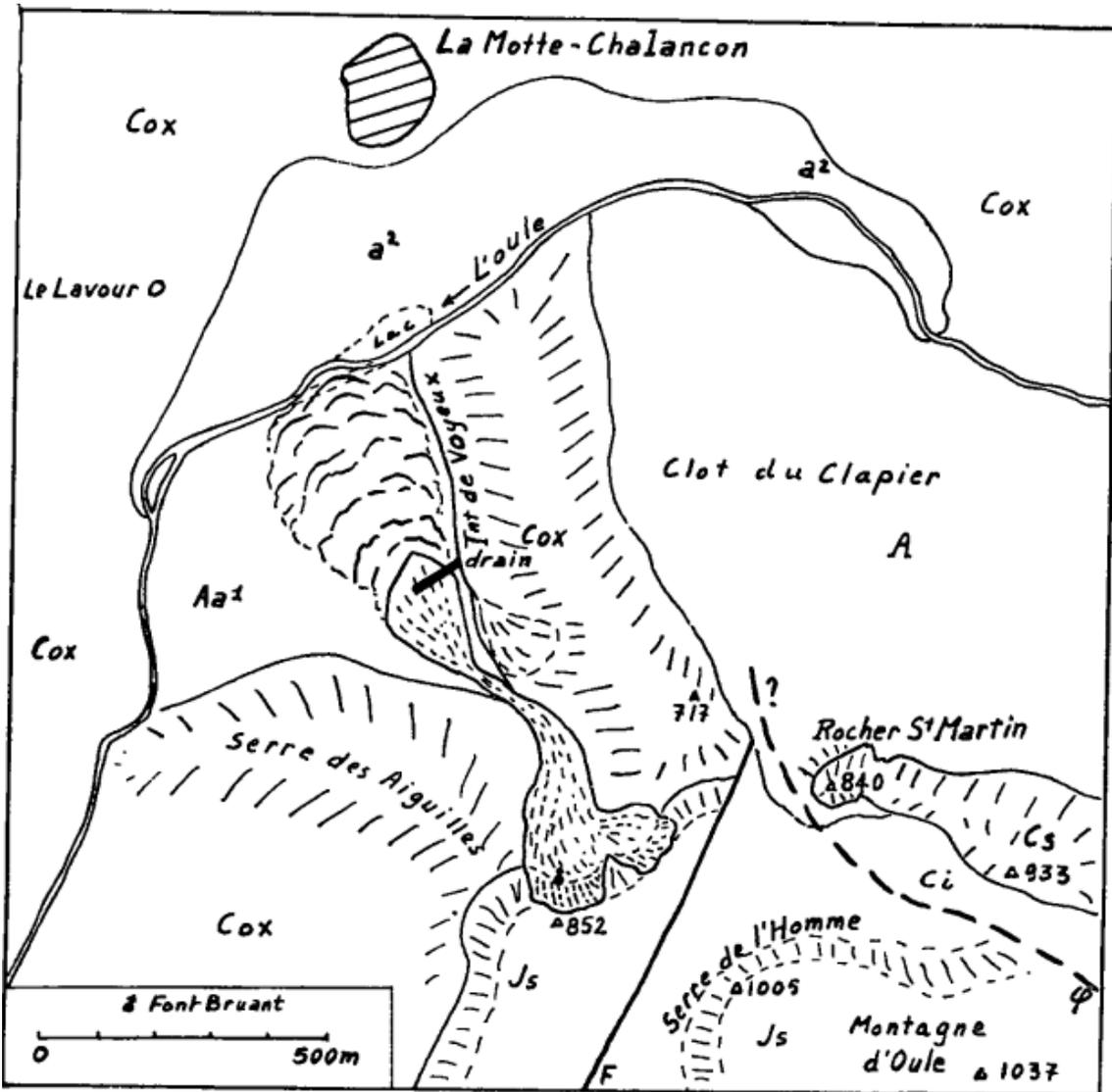


Figure 16 : Carte schématique du glissement de terrain de la Motte-Chalancon : « A » éboulis ; « a² » alluvions récentes ; « Aa¹ » cône de déjection torrentiel ancien ; « Cs » Crétacé supérieur ; « Ci » Crétacé inférieur ; « Js » Tithonique ; « Cox » Callovo-oxfordien ; « F » faille secondaire du décrochement de Jonchères ; « φ » chevauchement de Raton, d'après MICHEL, 1961.

Ce glissement affecte, au sud-est de la Motte-Chalancon, la moitié inférieure du versant qui, partant de la rive gauche de l'Oule, s'élève jusqu'à la Montagne d'Oule. Ce versant correspond à une zone assez broyée : on trouve ainsi des témoins de Turonien au même niveau que la barre tithonique. Les premiers affleurent au sommet du Rocher Saint-Martin, qui appartient à la terminaison occidentale du synclinal de Montmorin, quand la seconde se retrouve au Serre de l'Homme et au sommet de la Montagne d'Oule. L'ensemble est tranché non seulement par le chevauchement de Raton, mais aussi par la faille de Rottier et des fractures annexes du décrochement de Jonchères. La partie basse de la montagne est formée par l'ensemble très instable et facilement raviné des « *Terres Noires* ».

La zone accidentée occupe, très classiquement, l'emplacement d'un ancien cours torrentiel dont le bassin de réception se situe à la base de la falaise des calcaires tithoniques (point coté 852) et dont le cône de déjection, de vastes dimensions, s'étale entre le vallon de Voyeux et le Serre des Aiguilles. Ce cône de déjection est parsemé de cultures en terrasses et sa topographie tourmentée montre qu'il a depuis longtemps été le théâtre de mouvements de terrain partiels.

Le petit torrent de Voyeux draine cet ensemble : il est situé à la limite est du cône de déjection et muni d'un bassin de réception plus récent, entaillé dans les « *Terres Noires* » immédiatement au nord de l'ancienne gorge d'écoulement. L'eau provient de la nappe emprisonnée dans les calcaires jurassiques et qui resurgit au contact des marnes sous-jacentes.

La zone glissée affectée par le mouvement de terrains présente, comme on peut le voir facilement sur place, deux parties nettement distinctes :

- une partie amont, constituée de blocs de calcaires blancs de toutes dimensions qui occupe tout le bassin de réception et déborde largement de la gorge d'écoulement ;
- une partie aval qui occupe la moitié est du cône de déjection. Les crevasses et les effondrements de terrain, fort nombreux et très spectaculaires, y ont ravagé les cultures et fauché la plupart des arbres.

Les renseignements recueillis sur place, et l'absence de marnes glissées dans la partie supérieure de l'objet, indiquent que l'écroulement de la falaise calcaire a précédé, le 17 juin 1957, le glissement de terrain. Les très fortes pluies du printemps de 1957 ont vraisemblablement rempli toutes les diaclases de la masse calcaire, exerçant ainsi à sa base une très forte pression qui, jointe à son état de fissuration très poussé et à son pendage conforme à la pente, a provoqué l'écroulement d'un volume de roche qu'on peut évaluer à 200 000 m³. Ce vaste éboulement s'est engouffré dans la gorge d'écoulement qu'il a rabotée sur 8 à 10 m de profondeur, comme en témoignent les résidus de l'ancien remblaiement alluvial, alignés de chaque côté et simulant des moraines latérales (MICHEL, 1961). Le poids de la coulée rocheuse a fini par déstabiliser les marnes callovo-oxfordiennes, fortement imbibées par les pluies des mois précédents. Dès lors, on a affaire à un glissement de terrain tout à fait classique, dont le mouvement s'est d'ailleurs peu à peu amorti de par la plasticité même de la formation, comme le montre la diminution d'intensité des crevasses et des bourrelets du terrain à mesure qu'on se rapproche de l'Oule.

Ce mécanisme de glissement a déterminé d'autres phénomènes naturels autour de la Motte-Chalancon. Ainsi, en 1933 et 1936, les glissements de la Combe des Bernards détruisirent trois fermes. Sur la face est, le glissement du Lac, en 1829, détruisit deux fermes et barra l'Oule, provoquant une retenue d'eau temporaire de 12 m de profondeur.

4. Le site pilote de gestion intégrée des risques naturels en Baronnies

La thématique « *risques naturels* » s'inscrit dans un contexte d'information et de sensibilisation au risque sous forme pédagogique. Son objectif est de faire prendre conscience à la population, notamment aux jeunes, des aléas inhérents au milieu dans lequel elle vit et des principaux enjeux qui leur sont associés. La connaissance précise de ces phénomènes naturels dangereux et de leurs potentiels effets sur la population, les habitats et les infrastructures est en effet indispensable à la mise en place d'une politique de prévention des risques efficace et durable.

Sur le territoire des Baronnies, le site pilote de cette politique est le glissement du Lavavour ($X\ 911089.10$; $Y\ 6356445.60$). La majeure partie des données le concernant proviennent de la banque de données du BRGM et de la base de données de la RTM des Hautes-Alpes. Ce mouvement de terrain s'est déclenché dans les « *Terres Noires* » à la limite des communes de Sainte-Colombe et Izon-la-Bruisse et s'est poursuivi dans les marnes valanginiennes au début du mois de décembre 2003. Il s'agit de la remobilisation d'un ancien glissement daté de 1953, lui-même inclus dans un vaste mouvement de versant remontant jusqu'à la crête de la montagne de Chabre.

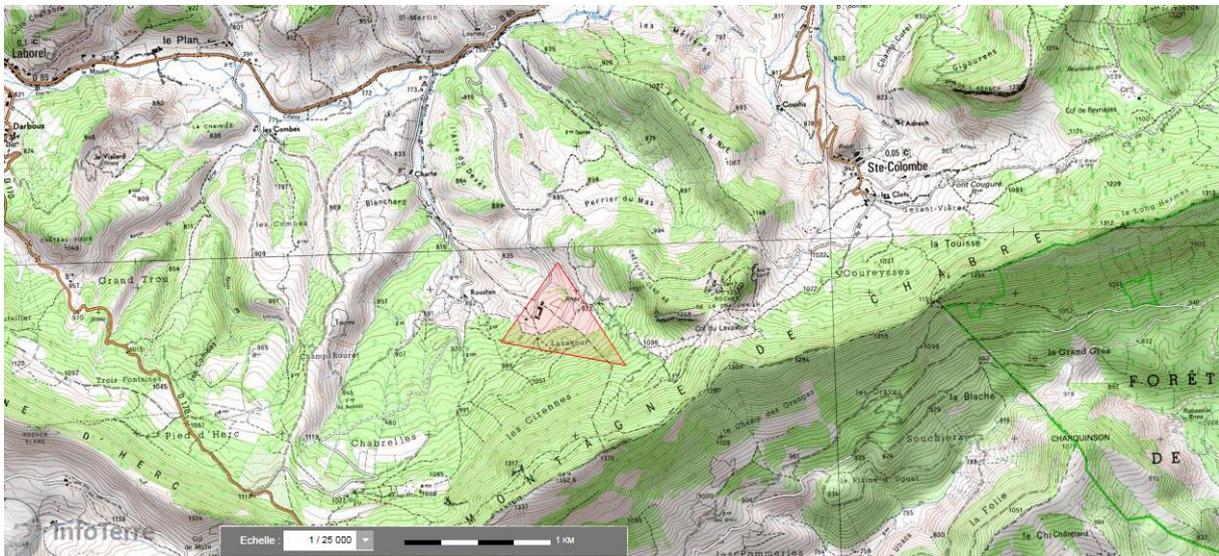


Figure 17 : Carte de localisation du glissement de Sainte-Colombe.

Si on observe la carte géologique éditée par le BRGM, on remarque qu'une faille se situe juste au niveau de la zone de glissement. Il est possible que cette faille ait joué un rôle dans le déclenchement du phénomène, soit par la fracturation qu'elle a engendrée dans la roche, soit parce qu'elle a facilité les infiltrations d'eau et donc la sursaturation des marnes.

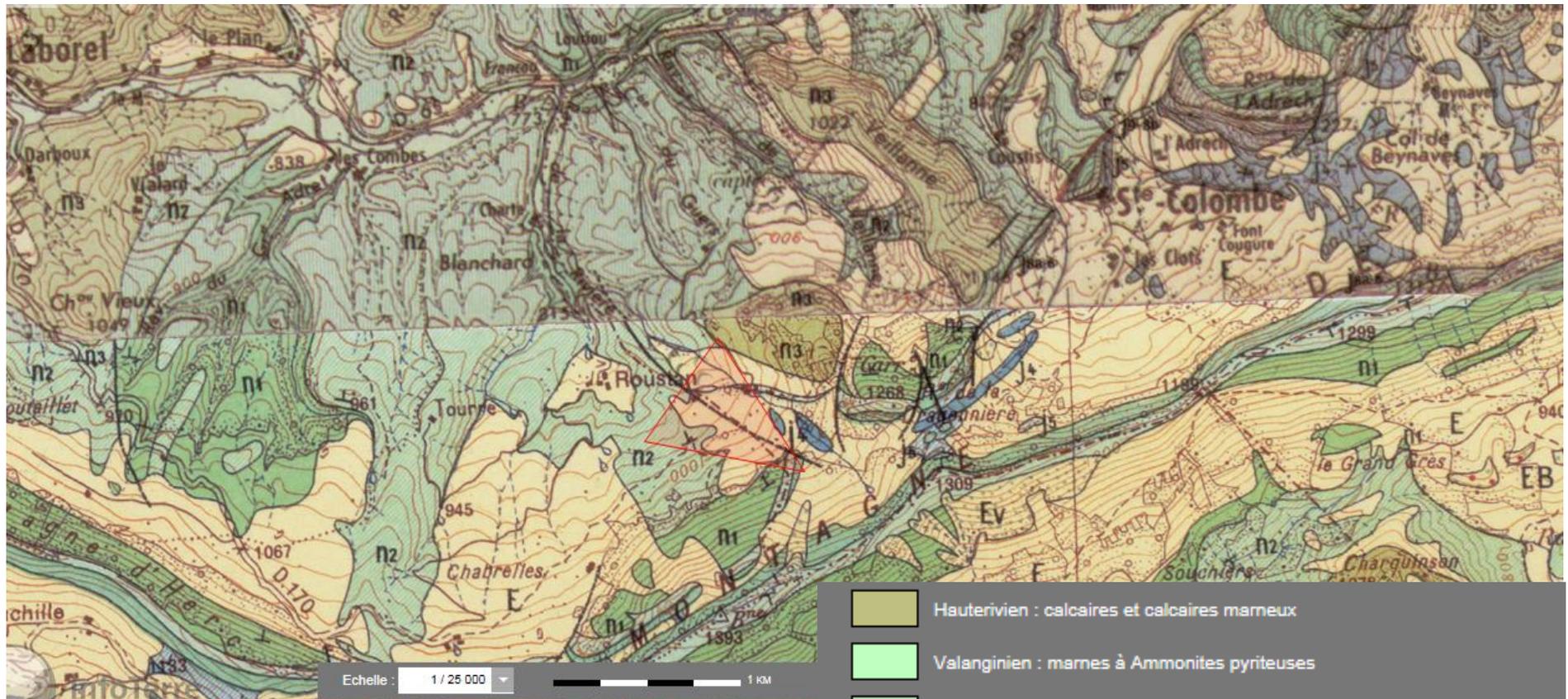


Figure 18 : Carte géologique du glissement de Sainte-Colombe.

La sélection de ce site tient à plusieurs raisons : facile d'accès, il est aisément visible dans le paysage puisqu'il couvre entre 35 et 40 hectares. Il permet d'observer de manière très exhaustive les indices et marqueurs des mouvements de terrain énumérés plus haut, comme le mentionne le compte-rendu de tournée du service RTM en date du 19 juillet 1985 (*nombreuses zones humides et un glissement actif au niveau des captages alimentant un centre de vacances situé plus bas, aujourd'hui évacué*). Les dernières reconnaissances menées par les services départementaux ont permis de noter des arrachements importants de 10 à 20 m et des phénomènes de glissement rotationnels emboîtés qui expliquent les débordements spectaculaires observés sur le flanc ouest du glissement de terrain.



Figure 19 : Vue du glissement de terrain de Sainte-Colombe depuis la route départementale au nord.



Figure 20 : Photographie de niches d'arrachement en « marches d'escalier » sur le flanc ouest du glissement de Sainte-Colombe.



Figure 21 : Photographies du glissement de Sainte-Colombe : à gauche, retenue d'eau sur le bourrelet aval du glissement ; à droite, l'aval du glissement. Remarquer la disposition chaotique de la végétation, signe de mouvement.

Pour toutes les raisons exposées ci-dessus, ce site présente un indéniable intérêt pédagogique permettant de présenter de façon concrète à la population les stigmates et les signes précurseurs d'un glissement de terrain.

Un argument supplémentaire à la surveillance de ce phénomène est la difficulté à l'heure actuelle de prédire son évolution. Bien qu'il soit probable que celle-ci se fasse en direction du thalweg, les débordements observés sur son flanc ouest ne permettent pas d'exclure totalement le risque d'un débordement du glissement sur l'autre versant, vers un hameau habité (ONF, 2010).

En nous basant sur les résultats de la recherche bibliographique et en considérant les moyens à disposition, une méthode simple pour suivre l'évolution du glissement de Sainte-Colombe a été mise en œuvre au cours d'une sortie pédagogique sur site avec deux classes de CE2 et de CM1 des écoles de Barret-sur-Méouge et Ribiers. Cette sortie a débuté par une reconnaissance générale du site à l'aide photos aériennes (Figures 23 et 24) qui a permis aux enfants de délimiter le phénomène. Puis nous nous sommes rendu sur le terrain pour observer *in situ* les indices d'un glissement de terrain.

L'objectif était de planter plusieurs lignes de piquets. Les coordonnées des piquets devaient ensuite être pris afin de poursuivre apprécier leur déplacement le cas-échéant. Cette méthode, simple à mettre en place, avait de plus l'avantage d'être très visuelle : les piquets étant alignés selon des lignes parfaitement droites, la moindre déformation serait aisément identifiable.

Afin d'obtenir les résultats les plus exhaustifs possibles, les piquetages ont été réalisés selon deux directions différentes :

- parallèlement (*longitudinal*) à la pente afin de pouvoir mesurer l'élargissement des zones d'arrachement ;
- perpendiculairement (*transversalement*) à la pente afin de pouvoir mettre en évidence des variations de vitesse entre différents points du glissement.



Figure 22 : Mise en œuvre et résultat du piquetage réalisé perpendiculairement aux niches d'arrachement de la Figure 18.

Mr FLAMAIN et ces mêmes élèves seront amenés à retourner sur site en avril-mai 2014 afin de constater le mouvement ou non des lignes de piquetages. En fonction du succès ou non de cette première étape, d'autres méthodes pourront être appliqués avec l'aide de la RTM pour permettre de mieux caractériser le glissement de Sainte-Colombe et établir un observatoire permanent.

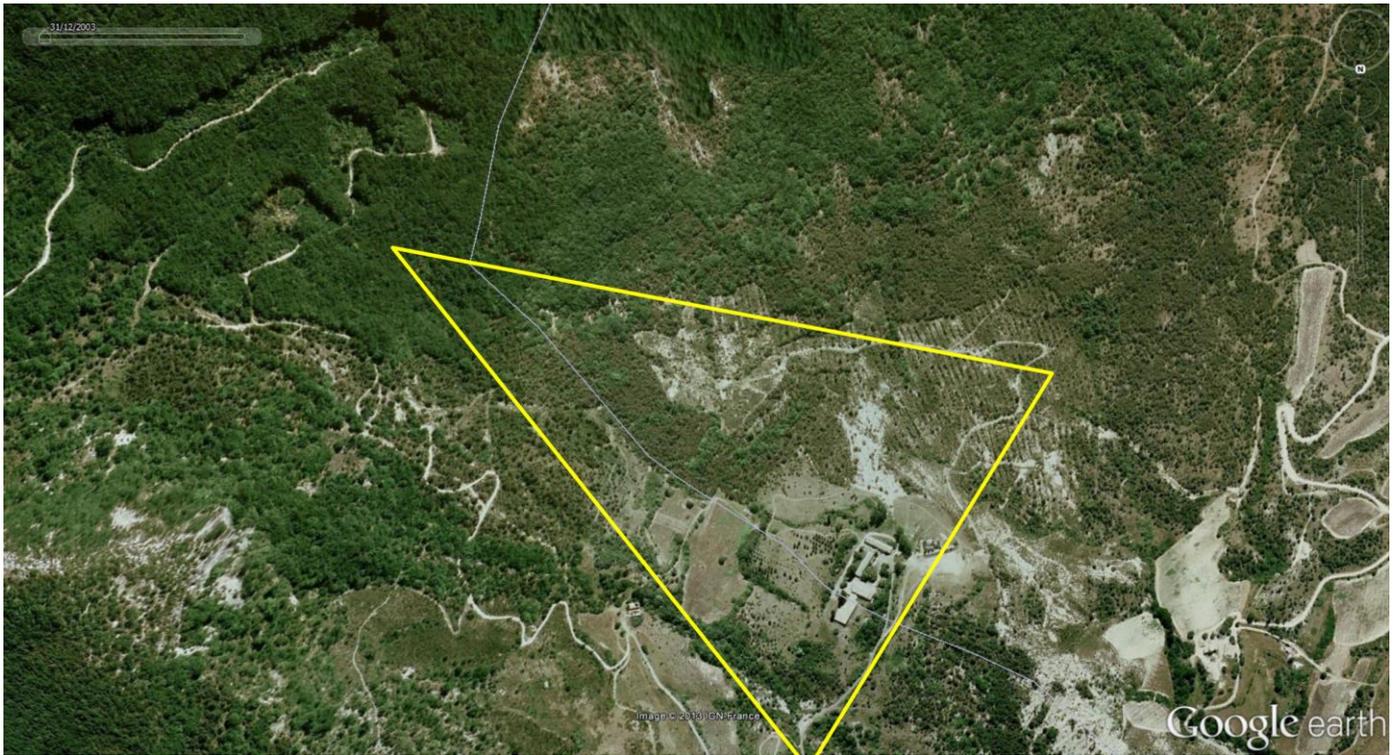


Figure 23 : Photographie aérienne de l'emplacement du glissement de terrain de Sainte-Colombe à l'été 2003.



Figure 24 : Photographie aérienne de l'emplacement du glissement de terrain de Sainte-Colombe à l'été 2006.

Références bibliographiques

DAUMAS J-C., LAUDET R., 1992. Quand la Terre montre l’Os. La Motte-Chalancon (*France*) : Cahiers de l’Oule (*Club Sportif et Culturel Mottois*). 28 p.

DEPREZ A., 2010. Caractérisation de la cinématique de glissements de terrain par mesure GPS en continu et modélisation mécanique - Application aux sites de La Valette et de Villerville. Rapport de stage de Master 2 Sciences de la Terre, Université de Strasbourg. 69 p.

GRANSAC L., MARSAC H., 2013. Inventaire des risques naturels actuels et passés sur le secteur des Baronnie.

INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL (IGN), 2012. GEOPORTAIL. Le portail des territoires et des citoyens [en ligne]. Disponible sur : <http://www.geoportail.gouv.fr/>

MALET J-P., MAQUAIRE O., CALAIS E., 2002. Le GPS en géomorphologie dynamique. Application à la surveillance de mouvements de terrain (*Super-Sauze, Alpes du Sud, France*). In : Géomorphologie : relief, processus, environnement, volume 8, n°2. p. 165-179.

MICHEL R., 1961. Le glissement de terrain de la Motte-Chalancon (*Drôme*). In : Travaux du Laboratoire de Géologie de Grenoble, volume 37. p. 121-127.

THIERRY P., DONZEAU M., 1998. Cartographie des aléas naturels du bassin de risques du Diois (*Drôme*) - Rapport intermédiaire. Bureau de recherches géologiques et minières (*BRGM*), R 39998. 47 p.

Annexes

Annexe A : Coordonnées de la ligne S1.....	34
Annexe B : Coordonnées de la ligne S2.....	35
Annexe C : Coordonnées de la ligne S3.....	35
Annexe D : Photographie aérienne localisant les différents piquetages réalisés.	36

SUIVI S1 (longitudinal)				
n° piquet	distance inter-piquet	distance cumulée	GPS1	
			Lat.	Long.
	Amont	Amont		
S1_p1	0	0	44.275118	5.640552
S1_p2	5	5		
S1_p3	2,1	7,1		
S1_p4	2,9	10		
S1_p5	2	12	44.275392	5.640643
	Aval	Aval		

Annexe A : Coordonnées de la ligne S1.

SUIVI S2 (longitudinal)				
piquets	distance inter-piquet	distance cumulée	GPS1	
			Lat.	Long.
	Amont	Amont		
S1_p1	0	0	44.276204	5.644375
S1_p2	7	7		
S1_p3	7	14		
S1_p4	7	21	44.276265	5.644222
S1_p5	7	28		
S1_p6	7	35		
S1_p7	7	42	44.276362	5.644028
S1_p8	7	49		
S1_p9	7	56		
S1_p10	7	63	44.276447	5.643796
	Aval	Aval		

Annexe B : Coordonnées de la ligne S2.

SUIVI S3 (transversal)				
piquets	distance inter-piquet	distance cumulée	GPS1	
			Lat.	Long.
	Amont	Amont		
S1_p1	0	0	44.276363	5.643998
S1_p2	5	5		
S1_p3	5	10		
S1_p4	5	15		
S1_p5	5	20	44.276516	5.644116
S1_p6	5	25		
S1_p7	5	30		
S1_p8	5	35		
S1_p9	5	40	44.276659	5.644252
	Aval	Aval		

Annexe C : Coordonnées de la ligne S3.



Annexe D : Photographie aérienne localisant les différents piquetages réalisés. En bleu, la ligne S1 ; en vert la ligne S2 et en jaune la ligne S3.