

*Mémoire de stage Master 1,
Mention Géosciences, Environnement et Risques,
Spécialité Risques Naturels*

Cartographie morphodynamique et évolution historique de trois glissements actifs dans le bassin versant du Riou-Bourdoux.

Alpes de Haute Provence – Vallée de l'Ubaye (04)



Marina UTASSE

7 Avril – 19 Juin 2009

Structure d'accueil : Institut de Physique du Globe de Strasbourg.

Maître de stage : **Jean-Philippe Malet** (chargé de recherches CNRS), Institut de Physique du Globe de Strasbourg (UMR 7516). École et Observatoire des Sciences de la Terre, Université de Strasbourg.

Responsable de spécialité : **Anne-Véronique Auzet** (professeur), faculté de Géographie et d'Aménagement, Université de Strasbourg.

Jury : Michel Granet (directeur de l'EOST) et Anne-Véronique Auzet.

Avant-propos.

Remerciements.

Je tiens en premier lieu à remercier monsieur Jean-Philippe Malet pour m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche, pour sa confiance durant cet encadrement en large autonomie, ainsi que pour ses précieux conseils tout au long de ce travail. Cette expérience de cartographie des mouvements de terrain a été très enrichissante tant au niveau de la compréhension des phénomènes, que de la maîtrise des outils d'analyse spatiale ainsi que de la pratique sur le terrain. Elle m'a permis de confirmer ma volonté de poursuivre sur la thématique des risques gravitaires pour l'avenir.

Je tiens également à remercier Monique Moine, pour son soutien, ses conseils, sa bonne humeur et son aide précieuse lors des mesures sur le terrain, notamment pour s'être largement dévouée à l'escalade des escarpements.

Je remercie pareillement Alexandre Mathieu qui a également réalisé son stage sur le Riou-Bourdoux, pour son soutien, son accompagnement, et son aide précieuse pour faire face aux nombreuses contraintes logistiques et informatiques que j'ai rencontré au cours de ce travail.

Je tiens à remercier tout particulièrement le RTM (Service de Restauration des Terrains de Montagne) pour son autorisation exceptionnelle d'accéder à certaines zones, pour m'avoir fait partager leur grande connaissance du site, ainsi que pour la mise à notre disposition de nombreux documents très enrichissants.

Je remercie enfin Martine Trautmann du Laboratoire d'Analyse des Sols et Anne Puissant du Laboratoire Image, Ville et Environnement pour m'avoir prêté le matériel nécessaire à la réalisation de mes travaux. Sans oublier toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin tout au long de ce stage.

Présentation de la structure d'accueil.

Ce stage de master 1 a été effectué au sein de l'Institut de Physique du Globe de Strasbourg (IPGS) : unité de recherche du CNRS (UMR 7516). Ce laboratoire constitué de 84 personnes, développe des thématiques variées autour des Sciences de la Terre, à travers des disciplines comme la géophysique, la géodésie, la magnétisme et la sismologie, les géosciences de surface ainsi que de l'environnement. Une partie de leurs observations géophysiques est consacrée à l'étude des risques gravitaires, à travers plusieurs programmes de recherche (ALARM, TESLEC...).

Dans ce contexte, ce travail s'est effectué sous la direction de monsieur **Jean-Philippe Malet**, chargé de recherches au CNRS, dans le cadre du projet européen Mountain Risk. Ce programme se compose de 20 unités de recherche de 8 pays européens, dont le but est d'améliorer les connaissances sur les risques hydro-gravitaires en milieu montagneux, à travers l'étude des aléas et de la vulnérabilité, l'évaluation quantitative du risque et sa gestion.

Ce stage s'est déroulé au sein des locaux de l'EOST (École et Observatoire des Sciences de la Terre). Pour mener ce travail à bien, il a été nécessaire de réaliser une quinzaine de jours (7 au 24 mai 2009) d'étude de terrain dans le bassin de Barcelonnette situé dans les Alpes de Haute Provence (04).

Résumé.

Les zones montagneuses sont affectées par de nombreux mouvements de terrain, comme le bassin de Barcelonnette dans les Alpes de Haute Provence. Le Riou-Bourdoux fait partie des plus grands bassins versants de la vallée. Pourtant, il est peu cartographié du point de vue de l'aléa, notamment à l'échelle locale.

Ainsi, dans la continuité des travaux de Thiery (2007), il est intéressant pour ce travail de réaliser une cartographie géomorphologique au 1/2000^{ème} sur des glissements actifs, les plus cités dans la littérature, et représentatifs des conditions locales du Riou-Bourdoux.

Puis, il s'agit d'utiliser la vision diachronique par photo-interprétation introduisant un aspect temporel, afin de fournir des informations supplémentaires sur l'évolution historique des secteurs étudiés et leur degré d'activité.

Pour permettre ensuite d'établir une interprétation morphodynamique des glissements de terrain analysés et offrir une perspective de cartographie d'aléa. Les documents cartographiques pourront ultérieurement servir à l'élaboration d'un Plan de Prévention des Risques pour la commune de Saint-Pons.

Mots clés : bassin versant du Riou-Bourdoux, mouvements de terrain, secteurs des Aiguettes, de Pra Bellon et des Fraissinets, DAO, cartographie géomorphologique, cartographie morphodynamique, diachronie, photo-interprétation, carte d'aléa.

Sommaire.

Avant-propos et résumé.	1
Sommaire.	3
Introduction.	4
I. État de l'art, présentation du site d'étude et méthodologie.	5
1.1. Le contexte scientifique et les objectifs de l'étude.	5
1.1.1. Contexte.	5
1.1.2. Objectifs du stage.	6
1.2. Présentation générale du bassin versant du Riou-Bourdoux et choix des sites.	6
1.2.1. Le « monstre » Riou-Bourdoux.	6
1.2.2. Le choix des sites étudiés.	8
1.3. La démarche méthodologique mise en œuvre pour la cartographie.	9
1.3.1. Méthodologie générale.	9
1.3.2. Méthodologie utilisée pour la cartographie.	9
II. Cartographie géomorphologique en 2009, à l'échelle locale des glissements de terrain des secteurs des Aiguettes, de Pra Bellon et des Fraissinets.	10
2.1. Le secteur des Aiguettes.	10
2.1.1. Description et analyse de la morphologie du glissement.	10
2.1.1. Hypothèses et interprétations du glissement de terrain des Aiguettes.	14
2.2. Les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets.	15
2.2.1. Description et analyse de la morphologie du glissement.	15
2.2.2. Hypothèses et interprétations de la complexité du glissement de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets.	20
III. Analyse comparative de l'évolution historique des glissements étudiés par photo-interprétation.	21
3.1. Diachronie à partir des photographies aériennes de 1974.	21
3.1.1. État du secteur des Aiguettes en 1974.	22
3.1.2. État des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets en 1974.	22
3.2. Diachronie à partir des photographies aériennes de 1956.	24
3.2.1. État du secteur des Aiguettes en 1956.	24
3.2.2. État du secteur de Pra Bellon et des Fraissinets en 1956.	25
IV. Interprétation morphodynamique des glissements de terrain étudiés, résultats et perspectives.	27
4.1. Estimation de l'activité des glissements, des processus d'instabilité et gestion de l'aléa.	27
4.1.1. Le glissement rotationnel des Aiguettes.	27
4.1.2. La complexité des glissements de Pra Bellon et des Fraissinets.	28
4.2. Perspectives d'évaluation qualitative du degré d'aléa des secteurs étudiés.	30
4.2.1. Rendu cartographique du degré d'aléa sur le secteur des Aiguettes.	32
4.2.2. Rendu cartographique du degré d'aléa sur les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets.	33
Conclusion générale.	34
Table des figures.	35
Table des Annexes et Table des Planches.	36
Références.	37
Annexes.	38

Introduction.

Les mouvements de terrain préfigurent au sein des catastrophes naturelles comme parmi les phénomènes géomorphologiques les plus coûteux et les plus fréquents à travers le monde. Malgré une large typologie, les mouvements de terrain se caractérisent principalement par un déplacement en masse de matériaux cohérents, le long d'une surface de rupture avec des volumes, des vitesses et des profondeurs variables. Ils se produisent sous l'effet combiné de facteurs de prédisposition qui conditionnent la déstabilisation (lithologie, climat, gravité...) et de facteurs de déclenchement (forçage climatique, activité sismique...). De plus associée aux causes naturelles, la responsabilité des activités humaines peut-être plus ou moins mise en cause (Flageollet, 1989).

Face à cet aléa naturel, la vulnérabilité traduite par l'exposition des populations et des infrastructures (habitat, industrie, agriculture, voies de communication, économie...), conduit au risque gravitaire entraînant des pertes et dommages potentiels.

En réponse à ces risques géomorphologiques associés aux mouvements de terrain, il existe en Europe, et plus particulièrement en France une forte demande sociale pour la prévention, la protection et la prévision spatio-temporelle des phénomènes hydro-gravitaires, notamment pour les zones montagneuses où l'occurrence et l'intensité des instabilités de versant est la plus fréquente.

Ainsi, dans le cadre du projet européen Mountain Risk, ce stage s'inscrit dans la **continuité des travaux de Yannick Thiery dans le bassin de Barcelonnette** situé dans les Alpes de Haute Provence (voir figure n°1), afin de **compléter l'inventaire des glissements de terrain, et pouvoir préparer à l'élaboration d'une carte des risques.**



Figure 1. Carte de localisation du bassin de Barcelonnette. Source : Utasse. M, adapté de Delsigne. F, 1999.

Dans ce contexte, la cartographie morphodynamique apparaît alors comme un outil intéressant afin de rendre compte d'une information spatiale globale et directe des mouvements de terrain, tout en apportant un cadre temporel afin de mieux comprendre l'évolution de glissements actifs. Dans le cadre de ce travail, la cartographie morphodynamique est appliquée au bassin versant du Riou-Bourdoux situé sur les versants adret du bassin de Barcelonnette.

Ce mémoire s'articule donc en quatre parties : la présentation des objectifs, de la méthodologie et du site d'étude. Suivi d'une cartographie géomorphologique à l'échelle locale des glissements sélectionnés à l'époque actuelle. Puis l'évolution historique de ces glissements grâce à la photo-interprétation. Enfin, une discussion sera proposée à travers une interprétation morphodynamique des glissements et le degré de susceptibilité de l'aléa.

I. État de l'art, présentation du site d'étude et méthodologie.

1.1. Le contexte scientifique et les objectifs de l'étude.

Cet état de l'art permet d'introduire ce stage dans son contexte scientifique et historique vis-à-vis des recherches effectuées préalablement dans le domaine. Il permet d'annoncer l'objectif, ainsi que sa contribution à la recherche scientifique.

1.1.1. Contexte.

Préalablement, afin de réduire les risques associés aux mouvements de terrain, la France mettait en œuvre une politique de correction systématique par des ouvrages de génie civil. Mais depuis 1970, suite à une série d'évènements catastrophiques (La Clapière, les Ruines de Séchiliennes, le barrage de Malpasset en 1959), à l'excès de confiance dans les systèmes de protection, et de la perte de la mémoire collective du risque, la France développe désormais prioritairement, une politique préventive du risque mouvement de terrain. Celle-ci tend vers une **démarche scientifique d'inventaire et de zonage du risque, à travers l'évaluation de l'aléa et des conséquences potentielles matérielles et humaines.**

La cartographie du risque et de l'aléa sont alors des outils indispensables pour s'inscrire dans cette politique. Leur but est de fournir des informations spatiales synthétiques et des éléments d'identification des phénomènes géomorphologiques à un moment donné sur un site particulier. Elles permettent une analyse rapide et une vision globale du risque gravitaire. Toutefois, l'échelle doit être suffisamment fine pour pouvoir distinguer des phénomènes souvent complexes. Plusieurs types de cartes sont alors élaborées où figurent les mouvements de terrain :

- Les cartes ZERMOS (Zones Exposées aux Risques de Mouvement du Sol et du Sous-sol), dès 1975 à l'échelle régionale 1/25 000^{ème}.
- Les PER (Plan d'Exposition aux Risques), en 1982.
- Les PPR (Plan de Prévention des Risques), à l'échelle locale 1/10 000^{ème}, en vigueur depuis 1995, et correspondant à l'échelle réglementaire pour l'analyse de l'aléa.
- De nombreux projets de cartographie géomorphologique voient également le jour, développés prioritairement par la communauté scientifique et les universitaires (RCP77, IGUIL, TESLEC, système Champenois...).

Dans ce contexte, plusieurs travaux ont été effectués dans le bassin de Barcelonnette, situé à l'extrémité Nord du département des Alpes de Haute Provence. En 1977, **Légier. A** y établit le cadre géomorphologique, et analyse quelques cas précis de grands mouvements de terrain situés sur le Riou-Bourdoux. Toutefois son analyse se résume à une description interprétative. A sa suite, en 1999, **Delsigne. F** s'inspire, pour sa cartographie géomorphologique du bassin versant du Riou-Bourdoux, du système de cartographie TESLEC (adapté de Paruto et Soldati, en 1999), toutefois elle ne fait état que d'un inventaire, et manque de précision spatio-temporelle voir typologique, concernant notamment le degré d'activité des mouvements, leurs dimensions, et les processus morphogénétiques. Ensuite, en 2003, **Malet. J-P**, fournit lors de sa thèse, un système de cartographie très précis, à l'échelle du site instable. Puis, en 2007, **Arnaud. F** propose à partir de la dendrochronologie, d'étudier précisément le degré d'activité de certains mouvements du Riou-Bourdoux. La même année, **Thiery. Y**, présente un système de cartographie relativement complet, adapté au bassin de Barcelonnette, à l'échelle réglementaire des PPR (1/10 000^{ème}). Ce stage s'inscrit dans cette

continuité, en effectuant un levé cartographique sur le bassin versant du Riou-Bourdoux, selon la méthode présentée par Malet. J-P et en partie celle de Thiery. Y.

1.1.2. Objectifs du stage.

Ce stage s'inscrit dans le cadre d'un **projet de levé cartographique**. L'objectif étant de réaliser à l'échelle locale très précise au 1/2 000^{ème}, un inventaire complémentaire de certains mouvements de terrain présents sur le bassin versant du Riou-Bourdoux, dans la continuité du travail préalablement réalisé par Yannick Thiery. Le but de ce travail est de compléter et d'enrichir la cartographie sur ce bassin versant, en apportant des précisions sur des phénomènes complexes et d'envergure. Il s'agit alors d'analyser plus précisément leur distribution, de déterminer leur taille, leurs limites, et leur type. Mais également de distinguer les différentes formes observées, ainsi que les formations affectées et mobilisées, dans le but d'une meilleure **représentation de l'évolution spatiale de l'aléa hydro-gravitaire dans ce bassin versant**.

Toutefois en raison des contraintes de temps et de faisabilité, il n'est pas possible d'effectuer un levé complet avec cette échelle, sur tout le bassin versant, seuls quelques mouvements ciblés et importants sont pris en compte (confère la justification du choix des sites en partie suivante). En conséquence, le rendu de ce stage doit correspondre à une cartographie géomorphologique détaillée de trois glissements de terrain actifs à savoir le glissement des Aiguettes, de Pra Bellon et des Fraissinets.

Ensuite, l'évolution historique des glissements est prise en compte grâce à la réalisation d'une diachronie, effectuée à partir de photographies aériennes, afin de pouvoir disposer d'informations temporelles sur l'activité des glissements. Conduisant alors vers une cartographie morphodynamique. Les informations renseignées sont donc directes et essentielles pour l'analyse de l'aléa mouvement de terrain. Elles renforcent la connaissance des phénomènes afin d'estimer subséquemment le degré de susceptibilité de l'aléa. Il s'agit de pouvoir désigner qualitativement et quantitativement les objets cartographiés (Thiery, 2007), mettre en évidence les facteurs de prédisposition à l'instabilité et les facteurs de déclenchement, de mieux comprendre leur évolution spatio-temporelle.

1.2. Présentation générale du bassin versant du Riou-Bourdoux et choix des sites.

1.2.1. Le « monstre » Riou-Bourdoux.

Le bassin versant du Riou-Bourdoux se localise sur le versant adret du bassin de Barcelonnette, dans la vallée de l'Ubaye, comme présenté sur la figure n°2. Situé sur la commune de Saint-Pons, sa superficie est d'environ 20km² (source : données SIG), avec une pente moyenne de 23%, jusqu'à 40%, pour un dénivelé total de 1800m. Il représente ainsi un des plus important bassin versant de la vallée, surnommé le « monstre » par les populations locales.

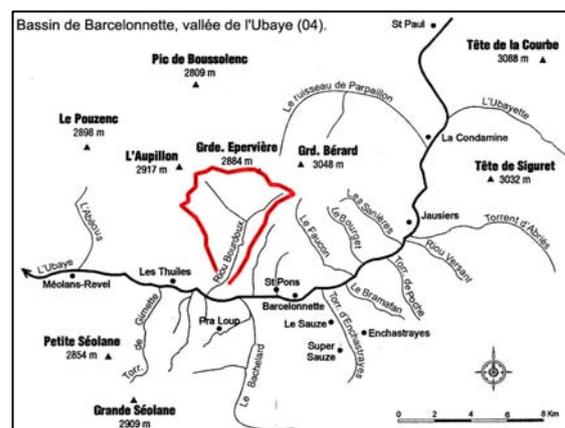


Figure 2 : Carte de localisation du bassin versant du Riou-Bourdoux. Source : Utasse, M, adapté de Delsigne, F, 1999.

Le climat y est méditerranéen à tendance montagnarde, avec une faible influence continentale, caractérisé par un printemps et automne pluvieux et une période estivale sèche,

toutefois accompagnée d'orages très localisés et violents. L'hiver y est froid et intense et les vents sont liés au relief. La température moyenne annuelle est d'environ 7.3°C, et l'amplitude thermique diurne représente l'une des plus élevée de France avec 15.3°C (Delsigne, 1999).

La lithologie se compose en partie supérieure de flyschs à helminthoïdes allochtones provenant des nappes de charriage de l'Autapie et de Parpaillon datées du crétacé supérieur. Cette formation est principalement constituée de grès et de schistes argileux. Puis au niveau du bassin versant moyen et inférieur, la géologie se caractérise par des **marnes noires** autochtones datées du jurassique également appelées « **Terres Noires** ». Elles se composent d'un mélange de calcaire et d'argile, avec un pendage conforme à la pente.

Les formations superficielles quant à elles sont caractérisées par une **large couverture morainique** laissée par les glaciers quaternaire. Les moraines recouvrent la majeure partie des affleurements marneux, en particulier en rive droite du bassin versant, leur épaisseur varie entre 1 et 20 m (Arnaud, 2007). Les secondes formations superficielles présentent concernent les **marnes in situ altérées**, d'une profondeur de quelques mètres, résultant principalement de l'érosion par météorisation. Enfin, le fond de la vallée est constitué de **dépôts torrentiels** récents, suivis en aval du bassin versant d'un très large cône de déjection composé de dépôts torrentiels anciens et stabilisés. La grande taille du cône témoigne de la dynamique autrefois importante des torrents (Riou-Bourdoux signifiant « torrent boueux »).

Le réseau hydrographique quant à lui présente un aspect arborescent et dendritique (Delsigne, 1999). Il est composé essentiellement du **torrent du Riou-Bourdoux** en fond de vallée qui se jette à l'aval dans l'Ubaye (confère annexe 1), du **torrent des Aiguettes et de l'Église** (aujourd'hui détourné vers celui des Aiguettes) en rive droite, avec le **Riou Guérin**. En aval de ce dernier, se trouve la confluence avec le **Riou de la Pare** et le **Riou Chamous** situé en rive gauche. De nombreux cours d'eau intermittents sont présents sur les versants ainsi que d'abondants écoulements superficiels résultant de la fonte des neiges ou de la présence importante de sources en raison des contrastes de perméabilité du substratum (les marnes étant très imperméables).

En conséquence de ces prédispositions naturelles (terrains sensibles à l'érosion, pentes importantes, rudesse du climat, forte activité hydrologique...), le bassin versant du Riou-Bourdoux est affecté par de **nombreuses instabilités de versants et des ravinements importants**. Les matériaux sont facilement mobilisables, causant de **nombreux mouvements de terrain, ainsi que des laves torrentielles** (confère annexe 2).

Ces phénomènes géomorphologiques ont été **largement accentués par l'action anthropique**, responsable d'un déboisement important et de la pression du surpâturage durant plusieurs siècles (confère annexe 1).

Ainsi, à partir de la fin du 19^e siècle, de grands travaux de reboisement (essentiellement des résineux) ont été mis en œuvre ainsi que diverses lois de préservation et l'expropriation totale du bassin versant. Ensuite de **grands ouvrages de génie civil ont été mis en place afin de pallier aux manifestations de la nature** (Delsigne, 1999), à savoir : des barrages, seuils, canaux de dérivation, drainage des versants, creusement du Riou sec. Depuis, ces ouvrages ont été améliorés et corrigés à plusieurs reprises.

Aujourd'hui, la dynamique morphogénique du bassin versant semble être partiellement maîtrisée. Toutefois quelques événements sont à recenser comme les laves torrentielles de 1963 et 1999. De même, de nombreux secteurs sont affectés par des glissements actifs, qui peuvent constituer un danger potentiel pour la commune de Saint Pons et les infrastructures situées sur le cône de déjection.

1.2.2. Le choix des sites étudiés.

En raison de l'échelle de cartographie très précise définie au départ, des contraintes de temps et des contraintes logistiques, il est apparu judicieux de **sélectionner des mouvements de terrain représentatifs de la dynamique morphologique du bassin versant.**

Les glissements actifs étant largement privilégiés, puisqu'ils sont les plus susceptibles d'évoluer à court et moyen terme, risquant d'occasionner potentiellement des dommages. De plus, ce sont les seuls qui permettent la réalisation d'une diachronie afin de rendre compte de leur évolution, tout en prenant en compte que les moyens techniques ne permettent pas de disposer de photographies aériennes antérieures à 1956. Les glissements de terrain actifs sont également les plus cités dans la littérature et les archives. Travailler sur ces phénomènes récents, permet donc d'enrichir et de compléter les informations les concernant.

Afin de pouvoir les identifier, il a été nécessaire de faire appel à la carte ZERMOS de 1975 couvrant l'ensemble du bassin de Barcelonnnette et géoréférencée en Lambert III (confère annexe 3). En la couplant avec d'autres informations comme la carte géologique, la carte d'occupation du sol et la carte topographique, il a été possible de déterminer des secteurs géomorphologiques différents et représentatifs, à savoir un secteur en rive gauche : **Pra Bellon et les Fraissinets** et un autre en rive droite : **les Aiguettes**, localisés ci-dessous en figure n°3.

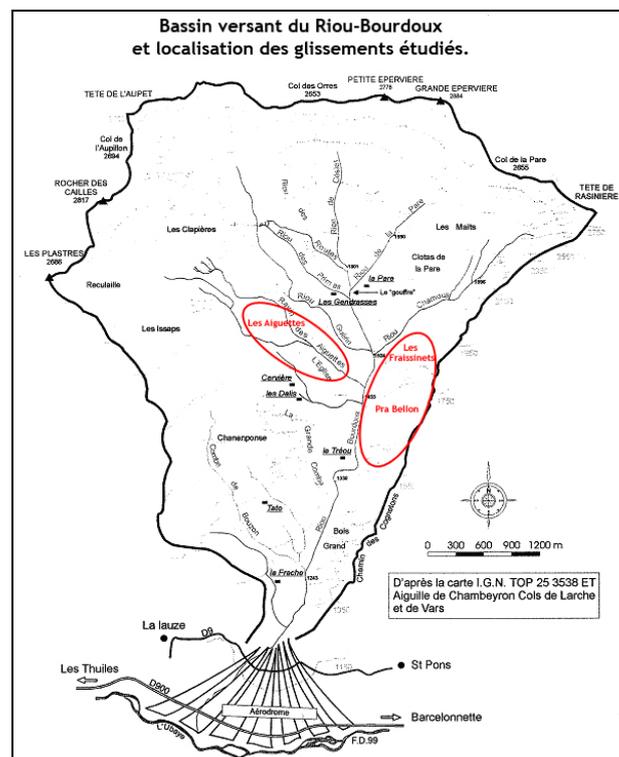


Figure 3 : bassin versant du Riou-Bourdoux et localisation des glissements étudiés. Source : Utasse, M, adapté de Delsigne, F, 1999.

Les secteurs de Pra Bellon et les Fraissinets sont associés puisque même si il s'agit de deux glissements différents, ils appartiennent au même ensemble géomorphologique. Ces glissements sont particulièrement intéressants puisqu'ils sont en relation directe avec la dynamique torrentielle du Riou-Bourdoux. Il s'agit également de la plus vaste zone de déstabilisation du bassin versant et vraisemblablement la plus active et la plus complexe, touchant directement au substratum rocheux.

Le secteur des Aiguettes correspond également à une vaste zone de déstabilisation, bien qu'en voie de stabilisation sur certaines zones selon les écrits. Ce glissement à la particularité de se situer entièrement dans les moraines et de ne pas affecter le substratum.

Il apparaît ainsi intéressant d’observer les évolutions et les comportements de ces trois glissements de terrain, adaptés par leur taille, leur morphologie et leurs caractéristiques à une cartographie à l’échelle locale.

1.3. La démarche méthodologique mise en œuvre pour la cartographie.

1.3.1. Méthodologie générale.

La méthode employée pour la réalisation de la cartographie morphodynamique des instabilités de versant **correspond principalement à celle présentée par Malet. J-P, dans sa thèse, en 2003**. Toutefois, elle doit être adaptée aux conditions locales du terrain. Par conséquent, la méthode comprend en partie une **application locale de la méthode de cartographie développée par Thiery. Y**, lors de sa thèse en 2007. Il s’agit d’une approche dite « experte » (Thiery, 2007), davantage qualitative, mais tout en ayant la volonté de garder un système cohérent et relativement simple, transposable, et permettant de comparer les différentes cartes obtenues. Les étapes pour la réalisation des cartes sont décrites en figure 4.

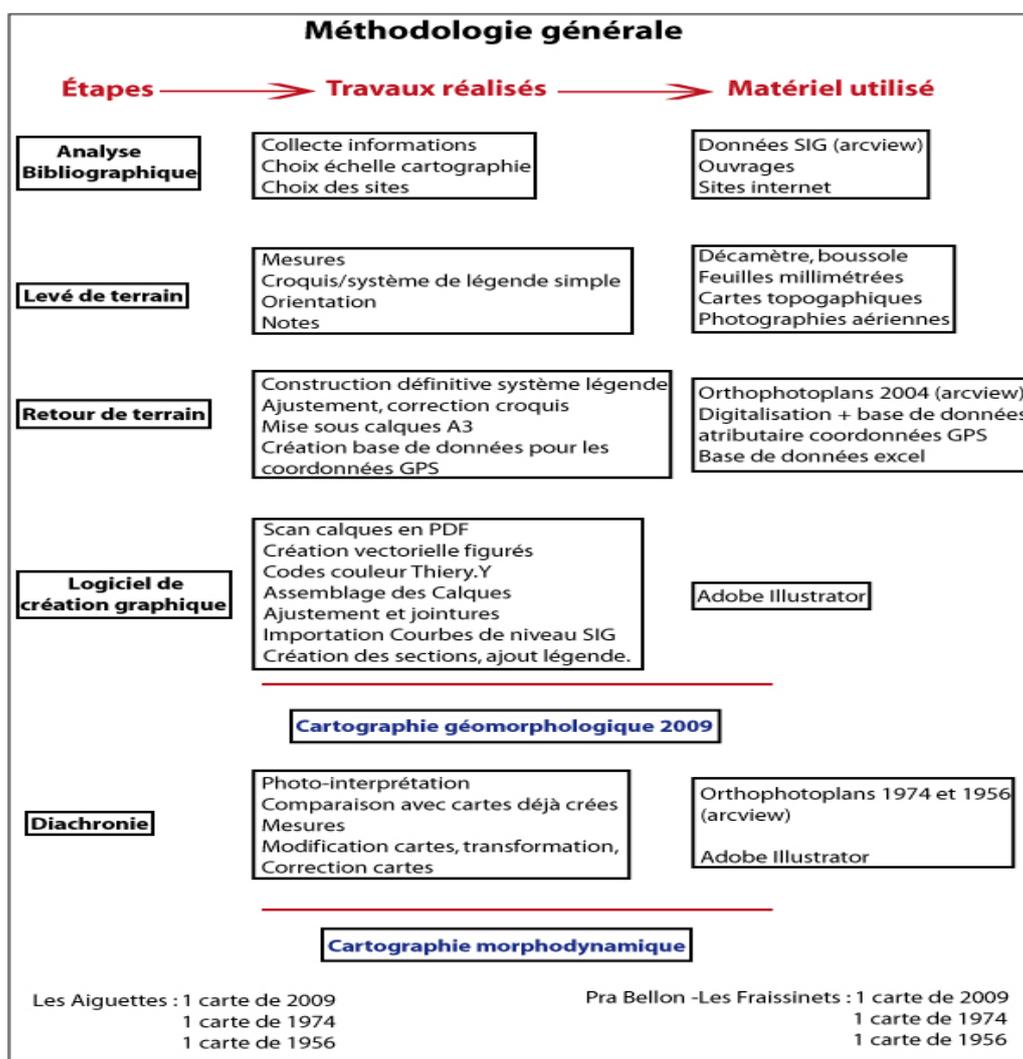


Figure 4 : Méthodologie générale. Source : Utasse. M, 2009.

1.3.2. Méthodologie utilisée pour la cartographie.

Le choix d’une échelle locale, au 1/2 000^{ème} est utilisée pour permettre une approche plus précise des phénomènes à l’échelle du site instable afin de mieux en comprendre le

fonctionnement et le comportement. Elle fournit une **analyse géomorphologique ponctuelle mais relativement complète et rapide d'un mouvement de terrain** plus ou moins complexe. Elle ne déforme pas la qualité de visualisation de la réalité topographique (Thiery, 2007). Cette précision spatiale permet de mettre en évidence certaines informations difficilement repérables à d'autres échelles.

Il est à préciser que **la carte est fondée sur la subjectivité du scientifique en charge du zonage** et sur son expérience. Par conséquent, **le système de légende a été créé selon ce qui a été observé directement sur le terrain.**

La légende définitive est finalisée au retour de la campagne de terrain, elle doit être à la fois adaptée aux secteurs cartographiés, mais doit être également transposable avec les travaux déjà effectués dans le bassin de Barcelonnette.

Ainsi, concernant la structure et la nomenclature des figurés, la légende repose sur le système morphodynamique élaboré par Thiery en 2007 et du système utilisé pour le glissement de Super-Sauze par Malet en 2003. Le libre arbitre y reste néanmoins très présent. Par conséquent la légende s'organise en plusieurs catégories, comprenant une quarantaine de figurés et permettant de fournir des renseignements sur :

- Le type de glissement.
- La zone d'escarpement, échelonnée selon le type de commandement de la pente.
- La limite de la zone d'ablation.
- La masse en mouvement avec sa zone d'accumulation, les formes observées (rupture de pente, contrepente, dépôt de coulées de débris, replat...).
- Les formations affectées.
- Le type de couvert végétal (arboré ou herbacé).
- L'hydrographie (type d'écoulement, source, sagne).
- Les ouvrages anthropiques (seuils, canalisations d'eau potable, réservoir...).
- Quelques repères topographiques comme les courbes de niveau (équidistance de 30 mètres), toponymes, limite de bassin versant, coordonnées GPS (la totalité des coordonnées figure en annexe 5).

Suite à cet état de l'art, de la présentation des sites d'étude et de la méthodologie, il s'agit désormais de se consacrer aux résultats obtenus, avec la cartographie géomorphologique des glissements analysés, dans leur état actuel. Il est à préciser que la seconde partie est dite géomorphologique et non pas morphodynamique, puisqu'elle ne prend pas encore en compte le caractère temporel des glissements de terrain.

II. Cartographie géomorphologique en 2009, à l'échelle locale des glissements de terrain des secteurs des Aiguettes, de Pra Bellon et des Fraissinets.

2.1. Le secteur des Aiguettes.

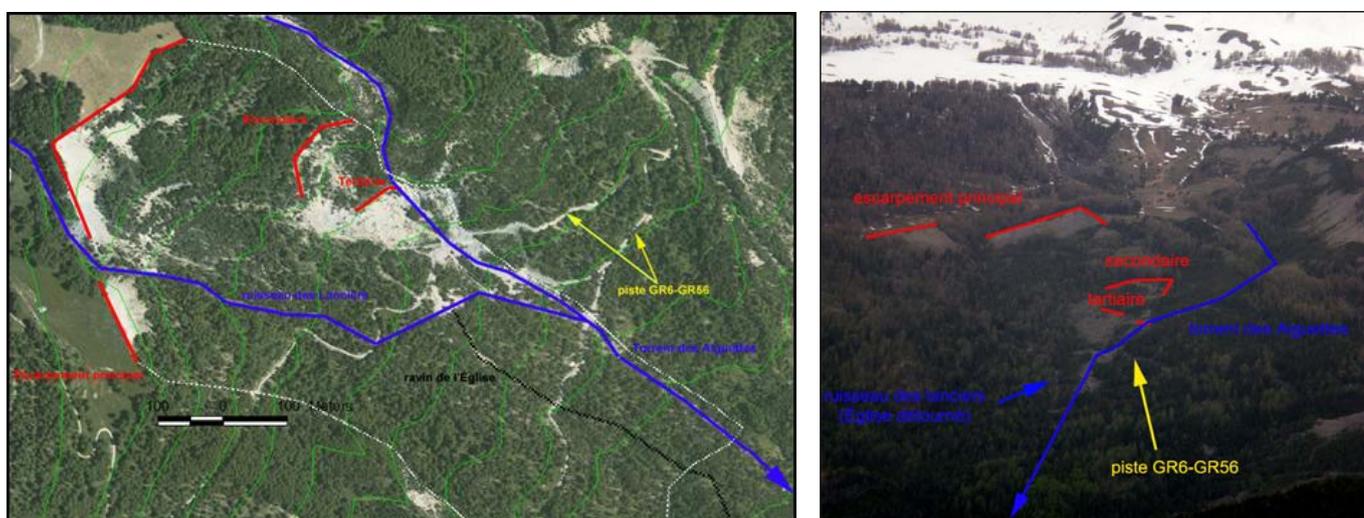
2.1.1. Description et analyse de la morphologie du glissement.

Le glissement des Aiguettes se localise en rive droite du Riou-Bourdoux, et fait face aux mouvements de versant du secteur de Pra Bellon. Le sentier GR6-GR56 est son moyen d'accès depuis la route forestière de la Pare. L'orientation générale du mouvement est Sud-est, avec une pente moyenne de 20°, fortement variable selon les secteurs.

Le sommet de l'instabilité situé au niveau de l'escarpement principal s'élève à près de 1976m d'altitude. A l'inverse, l'altitude la plus basse oscille autour de 1650m, soit un dénivelé de 326m pour une longueur totale de 900m. La couronne est particulièrement large avec une longueur globale de 600m (voir figures 5 et 6 ci-dessous). D'après les sources bibliographiques, le glissement date de plus d'un siècle.

Concernant la géologie, d'après les sources bibliographiques, le glissement ne semble affecter que les moraines glaciaires et des formations d'altération périglaciaire sableuse à galets de roches siliceuses avec des blocs de calcaire et dolomies triasiques. Il est probable que le substratum soit constitué de flyschs de l'Autapie (Sénonien créacé), en contact anormal vers 1900m avec les Terres Noires (Callovo-oxfordien jurassique) (Stien, 2001).

L'hydrogéologie se caractérise par les eaux superficielles permanentes du ravin des Aiguettes ainsi que du ravin des Lanciers, quelques cours d'eau intermittents sont également présents ainsi que de nombreux écoulements superficiels au niveau des zones d'ablation. Les eaux souterraines se caractérisent quant à elles par de nombreuses sources, des sagnes et des écoulements au niveau des fissures. Les précipitations actuelles sont de 745,2mm pour la normale 1954 à 2000 de Barcelonnette (Stien, 2001).

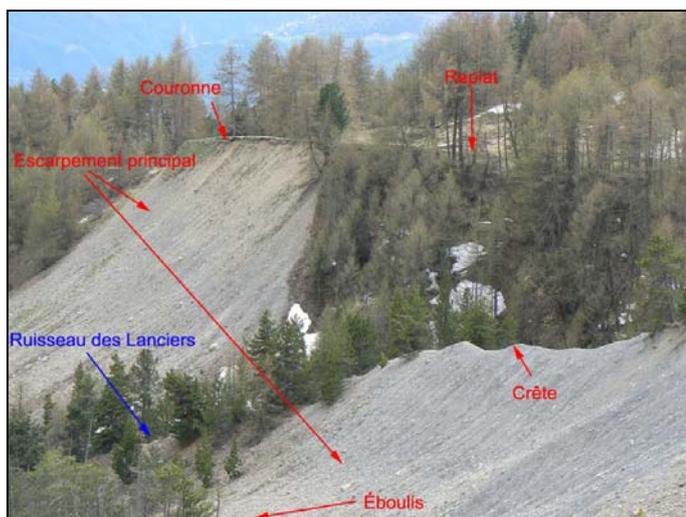


Figures 5 et 6 : Localisation du glissement des Aiguettes. Source : Utasse. M, 2009.

Pour l'analyse du glissement, il convient de procéder par un découpage subjectif de la carte en plusieurs sections afin de pouvoir distinguer les ensembles principaux et ainsi permettre une meilleure compréhension des phénomènes géomorphologiques. Par conséquent, il est nécessaire de poursuivre cette étude avec la carte des Aiguettes de 2009 à ses côtés.

Section 1 :

La zone d'arrachement principale crée un escarpement de près d'une quarantaine de mètres, sa surface de rupture au niveau des points 1,2 et 3 situés près de la « cabane neuve » se trouvent au niveau du replat d'un ancien glissement rotationnel localisé plus en amont et désormais inactif. Ensuite, l'escarpement est séparé en deux ensembles distincts par la traversée du ruisseau des Lanciers. Cette seconde surface de rupture se localise quant à elle le long d'une crête, aujourd'hui recouverte massivement d'éboulis morainiques et de coulées de débris dû à la présence de sources, et aux ruissellements (figure 7). Des sagnes (accumulation locale d'eau en surface) sont présentes au pied des coulées, au niveau des ruptures de pente. Enfin, l'escarpement principal change d'orientation formant un angle de près de 100°, et se prolonge le long d'un couloir d'avalanches sur environ 250m. De nombreuses fissures de traction et ruptures de pente y sont également présentes, elles morcellent le terrain en petites terrasses et soubassements, trop étroits pour être représentés sur la carte (figure 8).



Figures 7 et 8 : Photographies des escarpements de tête du glissement des Aiguettes. Cliché : Utasse. M, 2009.

A l'extrémité Est du glissement, se situe un glissement local apparenté au type translationnel, causant de nombreux désordres dans la végétation. Le pied de celui-ci est constitué de nombreux bourrelets aux orientations variables, il se prolonge vers un large replat. De manière générale, toute la section 1 est soumise à des bossellements plus ou moins importants, depuis le pied des escarpements principaux, provoquant une déstabilisation progressive des résineux vers une forêt ivre. Les arbres souvent malades, meurent sur place et sont basculés, donnant un paysage atypique au relief chaotique.



Figure 9 : Photographie prise à l'ouest du point n°10, témoignant du bossellement important et de la forêt ivre. Cliché : Utasse. M. 2009.

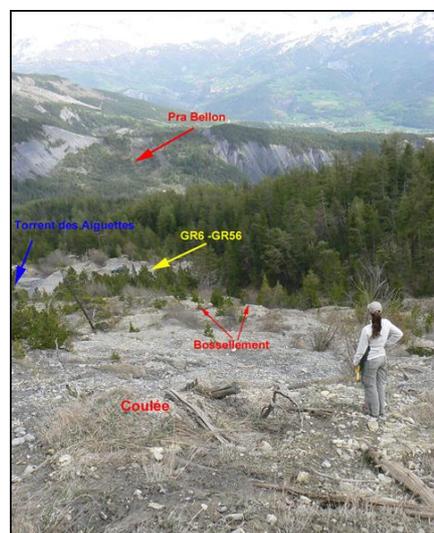
De nombreux petits escarpements sont également présents au pied des niches d'arrachement principales, toutefois ils ne sont pas suffisamment volumineux pour être considérés comme secondaires. De plus leur orientation est relativement aléatoire. Il est à noter qu'au pied de ces escarpements, proche du ruisseau des Lanciers se trouvent d'importantes accumulations de débris. Ensuite, la pente s'adoucit jusqu'à former un système de terrasses imbriquées qui offrent de nombreux replats. Ces derniers conduisent à la formation de zones humides en raison des nombreux écoulements superficiels présents au moment du levé de terrain début mai (période de fonte des neiges). Au niveau de ces zones, la végétation est très largement clairsemée et semble être en voie de recolonisation au regard de la petite taille des arbres, bien que le milieu au sol très pauvre, soit déjà peu favorable à leur croissance. Quelques contrepentes sont également présentes, sans pour autant être de taille importante.

Section 2 :

Au pied du glissement local supposé translationnel, la zone de replat se prolonge en contrepente jusqu'au niveau d'un grand escarpement d'une vingtaine de mètres, situé au point n°14, marquant une niche d'arrachement secondaire. Celle-ci surplombe une vaste zone de déséquilibres et de terrain remanié (Arnaud, 2007). Cet ensemble très visible depuis la photographie aérienne (figure 5) longe la rive droite du torrent des Aiguettes jusqu'à une crête.

Cette zone de déstabilisation est caractérisée par plusieurs phénomènes qui en font une singularité sur le secteur des Aiguettes (figures 10 et 11) :

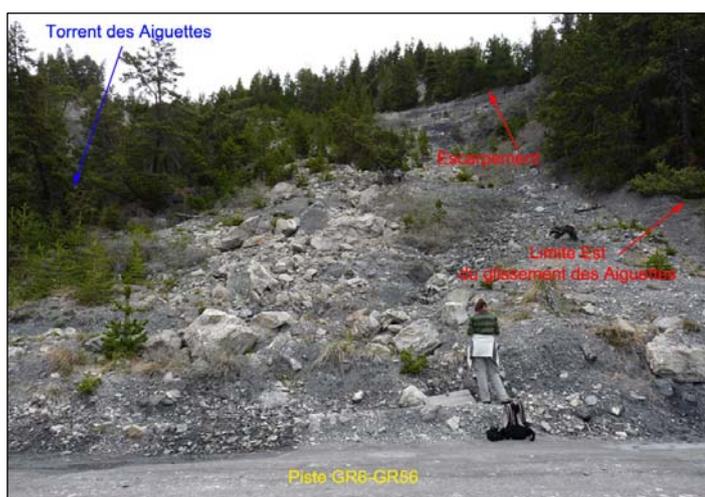
- Une **pente relativement raide** par rapport au reste des Aiguettes (25° à 30°), avec un plan de rupture caractéristique en « coup de cuillère ».
- La présence de **nombreuses sources en amont** , créant des ravineaux permettant **d'importants ruissellements** .
- La présence non négligeable d'éboulis à blocs centimétriques à décimétriques, sans organisation particulière, mais pris dans un **sol relativement plastique, spongieux et gorgé d'eau** (le sol très mou supporte à peine le poids d'un homme).
- La présence d'un **fort bossellement** , ainsi que d'une succession de replats et de contrepentes, conduisant à la formation d'abondantes **sagnes, et coulées de débris** .
- La présence d'une **troisième niche d'arrachement** , bien que moins marquée du fait qu'elle est progressivement recouverte par les matériaux remaniés.
- La **quasi inexistence de végétation** , le sol est nu, en voie de recolonisation par de petits résineux.
- **Le prolongement en coulée** , jusqu'au bord de la piste GR6-GR56.



Figures 10 et 11 : Photographies de la coulée en rive droite du torrent des Aiguettes, de profil, sous l'escarpement tertiaire et en vue plongeante vers l'aval. Clichés : Moine, M, 2009.

Suite à une crête, en rive gauche du torrent des Aiguettes, au niveau de la niche d'arrachement tertiaire, le même cas de figure d'instabilité est observé. Toutefois, la taille du matériel est sensiblement différente, notamment le long du torrent, il est désormais de taille décimétrique à métrique (figure 10).

Figure 12 : Photographie du glissement en rive gauche du torrent des Aiguettes, section 2. Cliché : Moine, M, 2009.



A l'ouest de toute cette vaste zone d'instabilité se trouve un large couloir, aplani, où passe une voie aérienne de canalisation d'eau potable. Cette voie de communication particulière a été choisie en raison de l'activité du glissement qui a brisé à plusieurs reprises,

les conduites souterraines, un passage par voie aérienne permet ainsi de limiter les pressions subies sur les ouvrages.

Enfin, le glissement des Aiguettes semble être délimité à l'extrémité Ouest par une ravine prolongeant l'escarpement de tête, jusqu'au point n°20, au niveau du GR. Au-delà, la limite se poursuit par un long escarpement désormais végétalisé. La section 2 se termine par la limite de la zone d'ablation.

Section 3 :

La dernière section du glissement ne présente plus aucun escarpement en dehors des limites extérieures à l'est et fixées par de profondes ravines à l'ouest. Le bossellement du relief y est également peu marqué à inexistant. Les arbres sont droits pour la plupart ou forment très légèrement un coude à leur base, signe d'un redressement. Ils semblent également tous de taille adulte et en bonne santé, contrairement aux observations précédentes. La particularité de cette zone tient au vestige de l'ancien passage du torrent de l'Église dans le ravin du même nom, aujourd'hui détourné par un canal de dérivation d'une vingtaine de mètres, en pierraille vers le torrent des Aiguettes au point n°21. Quelques seuils sont encore visibles sur le torrent de l'Église, désormais qualifié d'intermittent et entièrement boisé. Il est à rappeler que ce cours d'eau a été détourné à la fin du 19^{ème} siècle, pour éviter les déstabilisations de versant en aval afin de limiter l'extension de son cône de déjection dans le torrent du Riou-Bourdoux.

Enfin, dans sa partie frontale, le glissement des Aiguettes se caractérise par un important bourrelet de près d'une quinzaine de mètres d'épaisseur sur une longueur de plus d'une centaine de mètres, totalement végétalisé. Ensuite, le torrent des Aiguettes se jette dans le Riou-Bourdoux depuis le haut des badlands (secteur de ravinement).

2.1.2. Hypothèses et interprétations du glissement de terrain des Aiguettes.

Au regard de l'ensemble des formes observées sur le secteur des Aiguettes, **il est supposé qu'il s'agit d'un glissement rotationnel emboîté**, induit notamment par la forme de l'escarpement, et de leur disposition. **L'épaisseur moyenne du glissement est probablement d'une quinzaine de mètres**, information renseignée par le bourrelet frontal et la surface sur laquelle s'étendent les matériaux mobilisés. Il est peu probable qu'aujourd'hui le glissement soit aussi épais que sa niche d'arrachement principale. Malgré la présence de quelques éléments permettant de fournir quelques informations concernant le degré d'activité du glissement, celui-ci sera confirmé plus tard dans le dossier.

Toutefois, il peut-être avancé que les éboulis à gros blocs situés au pied des niches d'arrachement primaires et donnant une topographie bosselée sont des éboulis morainiques, ce qui confirme les descriptions trouvées dans les sources bibliographiques au sujet des formations affectées. Ces derniers sont probablement en voie de stabilisation, du fait qu'ils sont progressivement recolonisés par la végétation. Leur matrice majoritairement constituée de matériaux décimétriques peut s'expliquer par le fait que la matrice plus fine a été progressivement lessivée par les eaux de ruissellement et/ou la fonte des neiges. En revanche les éboulis plus récents ne sont pas colonisés par la végétation et la présence de matrice encore fine engendre parfois des coulées de débris, notamment si une source se trouve en amont.

Ensuite, le bossellement du à l'activité du mouvement de terrain pousse et entraîne les matériaux morainiques vers l'aval et déstabilise progressivement la forêt. Il peut donc s'agir d'une activité relativement importante et récente, puisqu'elle est plus rapide que la croissance naturelle des arbres. De plus, le bossellement peut-être le signe d'une activité du glissement sur faible profondeur. Il s'agirait donc d'un glissement qualifié de superficiel, n'affectant pas

le substratum, ce qui vérifie encore une fois les informations citées dans les sources bibliographiques.

Il est à préciser que les nombreuses sorties d'eau couplées avec la perméabilité des moraines, les replats et les contre-pentes engendrant des sagnes, contribuent à imbiber d'avantage le terrain, et par conséquent entretiennent l'instabilité du secteur.

Subséquentement, **la zone de déstabilisation située sous les niches d'arrachement secondaire et tertiaire, semble être apparentée à un glissement rotationnel qui évolue en coulée, appelé également un glissement complexe.**

Le terrain à l'apparence déstructurée, remaniée, saturée en eau et sans couvert végétal peut-être le signe d'une activité importante, à confirmer ultérieurement avec la diachronie. D'autant plus que selon les sources du RTM, quelques tentatives de drainage par l'ouverture de fossés ont été réalisées il y a quelques années, mais elles ont été vite comblées.

La surface des terres remaniées mobilisables sur cette zone est estimée d'environ 50 000 à 100 000m³ (Stien, 2001).

La partie située en rive gauche du torrent des Aiguettes soulève des interrogations quant aux matériaux mobilisés. En effet, ces derniers ne peuvent appartenir aux éboulis en raison de leur taille et de leur disposition. Dans l'hypothèse, il peut s'agir de blocs amassés par les hommes au moment de la construction des ouvrages. Ou bien d'un possible dépôt torrentiel, toutefois le torrent des Aiguettes dispose d'un chenal étroit, et à débit trop faible pour avoir la capacité de transporter de tels blocs. De plus, ceux-ci ne se trouvent qu'en rive gauche. La diachronie pourra éventuellement permettre de fournir des informations supplémentaires.

La limite de la zone d'ablation est située au niveau de la piste GR6-GR56, puisqu'il s'agit de la zone qui marque la frontière entre la concavité et la convexité de l'ensemble du glissement. Sous cette limite, le glissement est totalement végétalisé par toutes les strates floristiques caractéristiques de la forêt d'étage montagnard. Le bossellement y est faible et les formes sont estompées, ce qui peut être le signe d'une stabilisation de la zone.

Enfin, il est à préciser qu'en bordure latérale gauche, il peut être observé la présence de nombreuses fissures en dehors du secteur, ainsi que des mouvements de terrain locaux de petite taille. Il est probable qu'ils n'appartiennent pas au glissement en lui-même et ne sont par conséquent pas cartographiés. Il s'agit éventuellement de glissements périphériques résultant des forces de cisaillement entretenues par le glissement des Aiguettes qui déstabilise le terrain sur ses parties périphériques. Ces glissements n'observent pas la même orientation que celui des Aiguettes, ce qui permet de les distinguer, le sens du mouvement est différent tout comme le port des arbres. De même, tout le long des Aiguettes en limite gauche par rapport au sens du glissement, se trouvent des escarpements résultant de ces forces de friction.

2.2. Les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets.

2.2.1. Description et analyse de la morphologie du glissement.

Le phénomène hydro-gravitaire se localise à l'Ouest des crêtes de Chalanche et Bernarde. En aval de la confluence entre le Riou Chamous et le Riou de la Pare, et le long de la rive gauche du Riou-Bourdoux. Sa partie inférieure se situe en limite du bassin versant.

L'accès se fait par le sentier de la découverte du Riou-Bourdoux depuis la maison forestière du Tréou. L'orientation du glissement est Ouest avec une pente moyenne de 10 à 15°. L'altitude sommitale atteint près de 1800m et l'altitude la plus basse est proche de 1400m, soit une dénivelée totale de 400m. La largeur de la couronne centrale est approximativement de 770m. La longueur totale du glissement Nord-est Sud-est, avoisine les 1340m, pour une surface totale supérieure à 63,5 hectares (Stien, 2001).

La structure géologique est composée de marno-calcaires et de marnes noires, datant de l'Argovien sur 40 à 50m, ainsi que des célèbres « Terres Noires » callovo-oxfordiennes sur près 250 à 300m d'épaisseur avec un pendage conforme à la pente de 20°. En surface, l'ensemble forme une surface d'altération de quelques mètres d'épaisseur, engendrée majoritairement par la météorisation. Un large dépôt torrentiel est également présent le long du torrent du Riou-Bourdoux.

L'hydrologie se caractérise par le torrent du Riou Chamous, relayé par le torrent du Riou-Bourdoux qui draine le versant. Les niches d'arrachement sont sillonnées de nombreuses ravines qui concentrent le ruissellement, ou créent des zones humides. De nombreuses sources alimentent des écoulements temporaires, résultant de la fonte des neiges et/ou des infiltrations fluviales en amont. Comme pour le glissement des Aiguettes, le même principe du découpage en sections est appliqué ici.

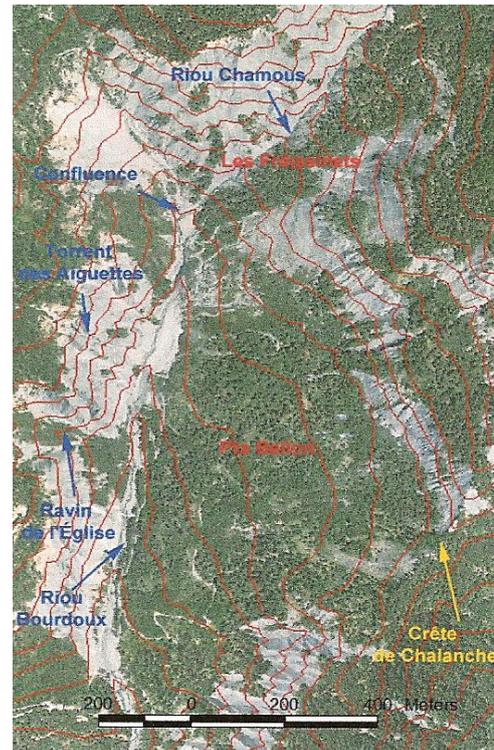


Figure 13 : Localisation du glissement de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse, M, 2009.

Section 1 :

Cette section correspond à la zone la plus au sud du glissement de Pra Bellon. Seuls deux phénomènes sont à distinguer à cet endroit, aucune autre forme témoignant d'une instabilité n'a été observée, le relief n'étant pas affecté par des signes tels que du bossellement ou le basculement d'arbres ou autre forme caractéristique.

Le premier phénomène de déstabilisation se situe au niveau du ravinement à l'extrémité Sud-est du secteur. Il est caractérisé par une niche d'arrachement relativement large mais peu élevée, avec un plan de rupture rectiligne. Sa zone d'accumulation relativement large au pied de l'escarpement, se transforme progressivement en coulée prenant en charge un amas de débris, puis se resserre vers l'aval pour s'engouffrer dans une ravine. Elle se termine par un bourrelet frontal de 5 à 8 mètres d'épaisseur. Il est à noter que la végétation semble être en voie de recolonisation sur l'ensemble du glissement et paraît relativement droite.

Ensuite, le second phénomène de déstabilisation se situe contre la crête de Chalanche, et semble avoir provoqué localement son effondrement. Il se définit par un escarpement découpé en deux ensembles joints, formant de légers arcs de cercles au niveau des couronnes avec un plan de rupture concave, suivi d'un léger replat et d'une contrepente au pied de ces mêmes escarpements. Le bossellement est important au niveau de la zone d'accumulation qui évolue en coulée.



Figure 14 : Tête du glissement-coulée de la section 1. Cliché : Mathieu, A, 2009.

De nombreux débris sont présents, mais de taille relativement petite ou en voie de désagrégation. D'abondants arbres arrachés et basculés sont observés en amont, avec des arbres morts en désordre plus en aval. Malgré les signes d'une coulée, le sol demeure relativement sec et non détrempé en surface. Il est toutefois à noter quelques ruissellements et de légères coulées de débris en partie aval avec la présence d'une zone marécageuse. La zone d'accumulation est délimitée par un bourrelet frontal d'un mètre d'épaisseur avec un maximum de deux mètres au niveau du point n°7 et par des bourrelets latéraux. La végétation s'avère être en voie de recolonisation de manière disséminée, avec de jeunes résineux droits pour la plupart et très localement de la pelouse.

Section 2 :

Cette zone se localise sur la partie centrale du glissement de Pra Bellon, à sa largeur maximale. Trois escarpements importants se situent à la même altitude que les zones de ravinement au niveau de la crête de Chalanche (1620m). Leur plan de rupture se dessine en « coup de cuillère » et marquent des lignes de sources très nombreuses, créant des écoulements superficiels avec des ravineaux sur les parois. Par conséquent, la forme des escarpements s'estompe progressivement.

Il est observé à la base de ces derniers, la présence d'un grand replat et de zones humides, marécageuses qui accumulent l'eau provenant des sources. Quelques cônes d'éboulis sont également présents. Puis, s'ensuivent une légère contrepenne et une grande rupture de pente.

La zone d'accumulation quant à elle est complètement végétalisée, les arbres majoritairement de taille adulte sont peu perturbés, le moutonnement du terrain y est faible à inexistant, malgré la présence de quelques petits décrochements localement.

Il est toutefois à noter la présence de très nombreuses sagnes de taille importantes (jusque 20m de diamètre) localisées majoritairement sur des zones de replat. Celles-ci sont fréquemment comblées par un dépôt argilo-marneux noir à matrice fine, en voie de consolidation. Elles sont facilement observables depuis les photographies aériennes du fit que sur ces zones, les arbres meurent sur place et autour.

Un important dépôt de coulée de débris est remarqué au centre de ce secteur orienté Nord-est Sud-est d'une longueur totale de 250m. Il fait suite à une seconde niche d'arrachement en aval de l'escarpement principal central. Très bosselé avec un sol saturé en eau, ce dépôt se termine par une zone marécageuse d'une quarantaine de mètres de largeur jusqu'à concentrer les ruissellements et former un cours d'eau superficiel. A ce titre, de très nombreux ruissellements et écoulements intermittents sont observés sur le versant. Deux autres dépôts de coulées de débris issues également d'escarpements sont identifiés sur le secteur bien que leur taille soit plus modeste.



Figure 15 : Escarpements de tête de Pra Bellon, section 2. Cliché : Utasse. M, 2009.

Au pied de la zone d'accumulation, sous le chemin forestier, il peut être observé une série de contrepentes caractérisées par une forme en gradins multiples (Thiery, 2007). A noter qu'il n'a pas été remarqué sur le terrain, la présence de bourrelets frontaux au niveau de la zone de contact avec le dépôt torrentiel du Riou-Bourdoux.

Enfin, il est à signaler que la pente raide et la végétation très fournie, bien souvent épineuse et épaisse a posé parfois problème quant à l'accessibilité de certaines zones, qui sont alors cartographiées préférentiellement à partir des photographies aériennes.

Section 3 :

La partie inférieure de cette section est marquée par la présence d'un important dépôt de coulée de débris en pleine forêt, d'orientation Nord-sud. Sa base se localise vers 1650m d'altitude, il est constitué d'une large surface plane de dépôt argilo-marneux consolidé, recouvrant le bas des troncs d'arbres sur une trentaine de centimètres environ. En remontant ce dépôt de coulée, plusieurs ravines d'écoulement sont visibles, celles-ci sont très étroites et encaissées, creusées dans le sol de la forêt sur deux à trois mètres de profondeur. De l'eau suinte le long des parois, et de nombreux débris de taille hétérométrique sont entraînés dans le sillage des chenaux.

En partie sommitale, ces couloirs d'écoulement remontent jusqu'à un glissement à la forme longiligne encaissé entre deux crêtes. La couronne semble légèrement en arc de cercle, toutefois l'escarpement fait d'avantage penser à un éboulement avec une surface chaotique, désorganisée, recouvert à sa surface de nombreux arbres morts et débris divers.

Le second ensemble correspond à la plus intéressante et à la plus vaste zone d'instabilité de cette étude, surnommée A pour mieux l'identifier. Il s'agit également de la plus complexe. La niche d'arrachement principale se dessine sur près de 80m de largeur à 1660m d'altitude. Le plan de rupture est concave avec une hauteur d'environ 40m, d'orientation Ouest. Outre la présence de nombreux débris au bas de l'escarpement, la couronne en partie centrale est légèrement reculée et laisse apparaître à son pied une importante accumulation de blocs frais identifiés comme étant des blocs de marnes noires, de calcaire, de schiste et un peu de calcite. Ils sont englobés dans une matrice argileuse et semblent se disloquer et s'altérer en progressant vers l'aval.



Figure 16 : Photographie générale du glissement-coulée du nord de Pra Bellon.
Cliché : Utasse, M, 2009.

Vers 1590m d'altitude, le glissement marque une importante rupture de pente identifiée comme la limite d'ablation, du fait qu'ensuite la morphologie du glissement tend vers une déformation progressive en coulée. Celle-ci semble évoluer non pas habituellement sous forme de langue, mais en spatule couvrant une grande superficie, et déviant vers le Sud-ouest, selon l'angle de la pente jusqu'à atteindre le torrent du Riou-Bourdoux. A son point le plus éloigné, la coulée mesure près de 300m de long.

A sa surface, sont remarquées de nombreuses fissures et griffures naturelles dans le sens de la pente, ou bien au pied des zones de coulées locales. Quelques fissures de traction

perpendiculaires à la pente sont également identifiées au niveau des zones de rupture et d'accélération de pente.

Le matériel contient une très forte majorité de marnes noires altérées qui moutonnent le terrain, donnant un relief chaotique. Les blocs observés précédemment sont broyés et altérés au fur et à mesure de la descente de la coulée, pour terminer à son pied en nombreux petits matériaux très anguleux et coupants de quelques centimètres de diamètre.

Une forme de croûte de battance de marnes altérées est également observée en surface, dure, râpeuse, elle semble relativement imperméable, néanmoins dès 10 à 20cm de profondeur, le sol de la coulée apparaît très humide, mou, spongieux, il perd de sa cohésion et devient instable. Le même constat est également observé dans les fissures naturelles dont les parois suintent d'eau, ainsi que dans le système de drainage mis en place par le RTM, consistant à creuser des ravines artificielles à la pelleuse afin de créer des zones d'écoulement préférentiel directement vers le torrent du Riou-Bourdoux.

La végétation est quasi inexistante sur le centre de la coulée, en revanche sur le front de celle-ci poussent d'abondants jeunes résineux et arbustes.

Enfin le pied du glissement se termine contre le lit du Riou-Bourdoux par un important bourrelet frontal d'une vingtaine de mètres d'épaisseur sur plus de 130m de long, en créant un embâcle progressif du torrent. Il peut y être observé de nombreux sapements de berge, créant un goulet d'étranglement du lit du cours d'eau, le débit de ce dernier s'en trouvant alors modifié, il gagne en puissance et en capacité abrasive.

Section 4 :

Cette section englobe le glissement des Fraissinets, d'orientation Nord-est Sud-ouest pour 400m de long, il fait face au torrent du Riou Chamous. Aux plus hautes altitudes, le glissement se caractérise par une série de zones de décrochements sous forme de banquettes, pour ensuite aboutir sur un escarpement principal avec un plan de rupture concave et très encaissé, celui-ci présente de nombreuses sources créant des chenaux d'écoulement préférentiel. Au pied de cet escarpement, se forme un importante contrepente, donnant lieu à la limite de la zone d'ablation, pour ensuite former une zone d'accumulation convexe légèrement bosselée. Cette forme représente ainsi un obstacle pour les écoulements superficiels, qui s'évacuent par conséquent sur le côté ouest au point n°15. Ce type de ruissellement entraîne à sa suite les matériaux mobilisés par le glissement, conduisant à la formation d'une coulée dont l'axe d'écoulement est perpendiculaire à celui de la pente générale.

Cette coulée rejoint le second ensemble des Fraissinets, caractérisé par une accumulation de blocs frais, d'arbres morts et de débris (au dessus du point n°4) au pied d'un escarpement partiellement détruit, situé lui-même sur le flanc droit d'un autre glissement qualifié d'ancien par les sources bibliographiques. Il figure donc sur la carte uniquement pour son interrelation avec les phénomènes représentés.



Figure 17 : Photographie générale du glissement des Fraissinets.
Cliché : Utasse, M, 2009.

Le même système hydrographique que celui cité précédemment est observé au niveau de cette zone, ainsi que les mêmes caractéristiques géomorphologiques. Toutefois, il est à

noter la présence d'un vaste dépôt de coulée de débris consolidée (50m de large pour 80m en longueur), très lisse sous-jacente à l'accumulation de blocs. Celle-ci est constituée d'une matrice fine, relativement homogène avec quelques blocs décimétriques à métriques dispersés à sa surface. Le dépôt de coulée de débris se prolonge en aval jusque dans la forêt où elle se dissipe progressivement sans bourrelet apparent.

Enfin, la zone située en rive gauche du Riou Chamous est marquée par une série de ressauts formée par une succession de rupture de pente. Un glissement local est également observé, proche de la berge, il est de petite dimension, et dispose également d'un plan de rupture en « coup de cuillère » avec une zone d'accumulation convexe.

2.2.2. Hypothèses et interprétations de la complexité du glissement de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets.

Le secteur de Pra Bellon et des Fraissinets semble correspondre à une déstabilisation générale du versant en rive gauche du Riou-Bourdoux. Celle-ci regroupe différents types de mouvements de terrain, mais toujours dans les marnes. Tous les compartiments ne suivent pas la même direction et n'évoluent pas de la même manière ni à la même vitesse. Chaque glissement paraît pouvoir disposer de ses propres caractéristiques géomorphologiques et évoluent indépendamment des autres. Cette hétérogénéité peut être éventuellement due à la combinaison de différentes propriétés où chaque zone ne subie pas tout à fait les mêmes contraintes, comme la déclivité, le degré d'altération des matériaux et leur volume mobilisé, la localisation des sources, des infiltrations et des écoulements. Enfin, **le caractère visquo-plastique des marnes semble jouer un rôle important dans la susceptibilité aux mouvements de versant de ce secteur.** En effet, pour une très faible variation de teneur en eau, elle passe d'un état solide à plastique voir liquide et perdent ainsi en cohésion (Malet, 2003), ce qui pourrait expliquer la morphologie en coulée de la zone d'accumulation de la plupart des mouvements de terrain dans les marnes.

De plus, il est probable **qu'en altitude, des actions de gel-dégel triturent les terrains argileux et les déstructurent.** Imbibés d'eau de fonte des neiges, par les précipitations, notamment orageuses, ils deviennent plastiques, se dilatent jusqu'à entraîner des coulées.

Ajouté à cela, **des fentes de dessiccation qui se forment en été sur les marnes y ouvrent des voies préférentielles de pénétration des eaux,** qui imbibent davantage le terrain. C'est peut-être pour cette raison que ce versant se morcelle en paquets disjoints qui glissent les uns à côté des autres.

A ce titre, chaque instabilité répertoriée précédemment peut être identifiée. Pour la *section 1* la morphologie du mouvement de terrain dans les ravines peut s'apparenter à un glissement translationnel, ensuite le second semble être un glissement-coulée en partie inférieure avec un départ à composante rotationnelle. Par conséquent, il est dit complexe tout comme sur les Aiguettes. A noter que ces glissements semblent être des glissements relativement superficiels.

La *section 2* en revanche, s'apparente à un important glissement rotationnel, le faible moutonnement du terrain et le peu d'arbres basculés peut être le signe d'un glissement en profondeur nettement supérieur à 10m, affectant jusqu'au substratum. Il peut être à l'origine de la déstabilisation de l'ensemble du versant.

Ensuite en *section 3*, l'hypothèse consiste en un glissement soudain, peut-être dû à un effondrement local, alimenté par les écoulements localisés juste en amont. Très encaissé et

assisté par le ruissellement, il a évolué en coulée très liquide suffisamment puissante pour creuser brutalement le sol de la forêt, probablement lors de fortes intempéries.

Subséquent, la grande zone d'instabilité surnommée A semble correspondre à **un glissement de type rotationnel évoluant en coulée, soit un glissement complexe mais sur une profondeur importante, probablement d'une vingtaine de mètres**. Le volume total mobilisé doit correspondre à environ 1,5 ou 2 millions de m³ (Stien, 2001). Il est représentatif des mécanismes de désolidarisation observé sur les marnes. Une activité a pu être directement observée sur le terrain, au niveau de l'escarpement qui connaît un phénomène d'éboulement permanent et important, les matériaux mobilisés sont de taille centimétriques à décimétriques. Des bruits témoignant de décrochements locaux sont entendus en permanence et suite à une journée pluvieuse, il a été constaté d'importants arrachements ainsi que la formation d'un cône d'éboulis de plusieurs mètres, ainsi qu'un dépôt de coulée de débris local en quelques heures. Les causes probables à ces événements peuvent être la thermoclastie importante observée la veille sur le terrain, qui fracture la roche et contribue à la chute des matériaux. Il faut également ajouter le gradient de pente élevé, l'humidité des marnes due aux précipitations et par les lignes de sources réactivées par la fonte des neiges, et bien évidemment la prédisposition de la structure des marnes en place à la schistosité qui se délite en plaquettes et leur sensibilité à la teneur en eau.

Ensuite, la déstabilisation de la coulée peut s'expliquer par l'accumulation d'eau dans les fissures qui entretiennent le glissement et sa progression vers l'aval, ainsi que **le sapement des berges par l'érosion torrentielle qui rend instable le front de la coulée et crée des glissements translationnels superficiels de berge**. Un possible effet de splash sur la croûte de battance peut également s'ajouter durant des pluies entraînant de nombreux ruissellements. Il est à noter que les matériaux calcaires et schisteux retrouvés tout le long du glissement peuvent résulter d'un effondrement local d'une partie de l'escarpement proche des flyschs.

Enfin, **le phénomène d'embâcle progressif de la coulée sur le torrent peut éventuellement causer à terme un risque de lave torrentielle**, puisque beaucoup de pressions sont exercées localement.

Concernant la *section 4* des Fraissinets, il s'agit là encore des mêmes conditions d'instabilité. A noter toutefois que le dépôt de coulée de débris résulte vraisemblablement de l'amas de blocs accumulés au dessus suite à un autre effondrement. Ce dépôt s'est probablement créé en raison du lessivage de cet amas par les eaux de ruissellement, entraînant avec lui la matrice fine.

Afin de fournir d'avantage d'informations sur les glissements étudiés et mieux en maîtriser les mécanismes et les processus, il convient d'analyser leur évolution historique grâce à la réalisation d'une diachronie par photo-interprétation.

III. Analyse comparative de l'évolution historique des glissements étudiés par photo-interprétation.

3.1. Diachronie à partir des photographies aériennes de 1974.

Cette diachronie est effectuée à partir des photographies aériennes de 1974, prises dans le spectre infrarouge dans le but de mettre en évidence les différentes strates de la végétation. Par conséquent, la flore apparaît en différentes teintes de rouge et le sol en nuances de bleu et de gris uniquement.

3.1.1. État du secteur des Aiguettes en 1974.

Le glissement de terrain des Aiguettes ne semble pas avoir considérablement évolué depuis 1974 par rapport à l'état 2009. Aucune évolution n'est constatée au niveau de la zone d'accumulation, hormis quelques travaux d'ouvrage anthropique. En revanche quelques modifications sont à noter au niveau de la zone d'ablation.

La première se situe sur la couronne de l'escarpement principal à l'est du point n°6. Le recul de la niche d'arrachement est moins prononcé, les fissures de traction et les soubassements sont moins nombreux. Ainsi, **un recul de la tête de glissement de près de 10m est observé en 35 ans.**

La seconde modification se situe au niveau du glissement-coulée des Aiguettes (*section 2*). Le même constat est observé pour l'escarpement secondaire qui paraît moins érodé en 1974. Ensuite la niche d'arrachement tertiaire s'avère moins marquée, tout comme l'escarpement latéral ouest qui est moins reculé et moins prononcé aussi bien en hauteur qu'en longueur. La seconde partie du glissement-coulée en rive gauche du torrent est également plus étroite, l'escarpement paraît avoir connu un recul de près de 8m durant le laps de temps écoulé entre les deux photographies aériennes. A noter que la végétation apparaît plus abondante en 1974, et que certains ouvrages anthropiques ne sont pas encore réalisés. **En 35 ans, il semblerait donc que le glissement-coulée des Aiguettes a connu une certaine activité.** Les modifications principales ci-dessous (figure n°18).

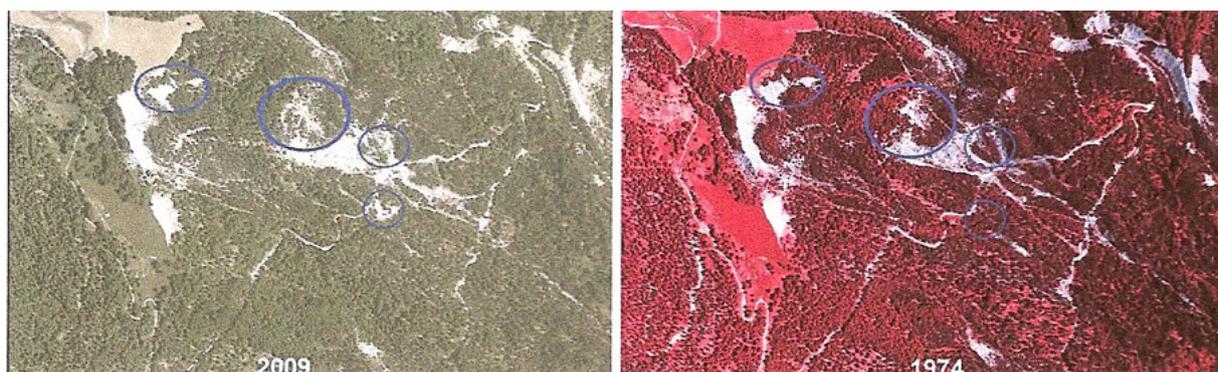


Figure 18 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 2009 et 1974 du secteur des Aiguettes. Source : Utasse, M, 2009.

3.1.2. État des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets en 1974.

Contrairement au secteur des Aiguettes, les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets semblent avoir beaucoup évolué entre 1974 et 2009.

En *section 1*, il peut être remarqué **l'absence totale du glissement translationnel et du glissement-coulée de la crête de Chalanche.** Cette dernière n'étant pas effondrée ni reculée sur sa partie latérale gauche, confirme une relation avec la formation du glissement-coulée. Ces derniers résultent donc d'une instabilité postérieure à 1974.

Ensuite, en *section 2* les formes principales restent présentes, **les niches d'arrachement rotationnelles ne semblent pas avoir connu de changement prépondérant**, hormis l'escarpement n°1 situé le plus au nord qui est légèrement moins marqué. Il est ensuite à noter que les dépôts de coulée de débris apparaissent nettement moins étendus et plus étroits comme la coulée centrale. Les sagnes sont également de taille plus réduite, tout comme certains escarpements locaux moins prononcés, et des cônes d'éboulis au pied des escarpements. En revanche, la végétation arborée y est distinctement plus importante contrairement aux zones herbacées. A noter l'inexistence des chemins forestiers à cette époque.

Les modifications les plus importantes se situent vraisemblablement au niveau de la *section 3* (figure 19). Tout d'abord, l'importante coulée de débris existant en 2009 paraît nettement moins étendue et les ravines creusées dans la forêt ne sont pas visibles. Ensuite, le glissement de type glissement-coulée situé en amont de ce phénomène paraît plus grand notamment plus large. Il est peut être d'avantage chargé en matériaux du fait que ceux-ci ne se sont pas encore écoulés dans la forêt. Par conséquent il a perdu de sa masse et de sa stabilité entre 1974 et 2009.

Puis, le second changement concerne le grand glissement-coulée A au nord de Pra-Bellon. Il semble qu'en 1974, **le glissement a connu une activité importante au vu de sa morphologie très perturbée**. Tout d'abord, l'escarpement ne semble pas être affecté par un éboulement, celui-ci est inexistant, de même le drainage par ravines anthropiques n'est pas encore mis en place. La modification la plus spectaculaire concerne la zone d'accumulation du glissement. Celle-ci semble nettement plus importante qu'en 2009, **la coulée a presque totalement obstrué le torrent créant un embâcle presque complet avec une accumulation d'eau en amont**. Elle paraît plus gonflée et dilatée, avec un relief chaotique, elle s'étend sur la zone de dépôt torrentiel actuel à travers un large bourrelet frontal en forme de lobe. De nombreux ruissellements sont également présents sur le glissement, creusant de profondes ravines, et les escarpements semblent estompés par la coulée. Il est vraisemblable que le glissement ait connu à cette époque une activité importante, éventuellement à relier avec les cumuls de précipitations. Il paraît saturé en eau et très largement liquéfié. A noter également l'absence du célèbre seuil à quatre marches situé sur le Riou-Bourdoux, ainsi que le réseau hydrographique du torrent disposé en tresse, du fait qu'il soit moins canalisé qu'aujourd'hui.

Enfin, concernant le glissement des Fraissinets en *section 4*, les évolutions concernent en premier lieu des escarpements, qui sont moins reculés en 1974. En revanche, l'effondrement et l'accumulation de blocs existent déjà, bien que de taille plus modeste. En conséquence, le dépôt de coulée de débris en aval est présent mais sur une surface moins étendue. A noter que celui-ci est relié par un système d'écoulement superficiel avec la ravine située au dessus du point n°3, qui longe le glissement-coulée A. Aujourd'hui cette connexion hydrographique n'est plus observable. De même la coulée du glissement situé plus en amont est plus étroite. Enfin, l'escarpement localisé le plus au nord s'avère être moins déstructuré qu'aujourd'hui, les gradins sont moins marqués.

Ainsi, il semblerait que **les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets connaissent une certaine reprise d'activité entre 1974 et 2009, sauf exception pour le grand glissement-coulée A de Pra Bellon, qui lui paraît s'être quelque peu stabilisé en 35 ans**. Les principales modifications sont illustrées en figure n°19.

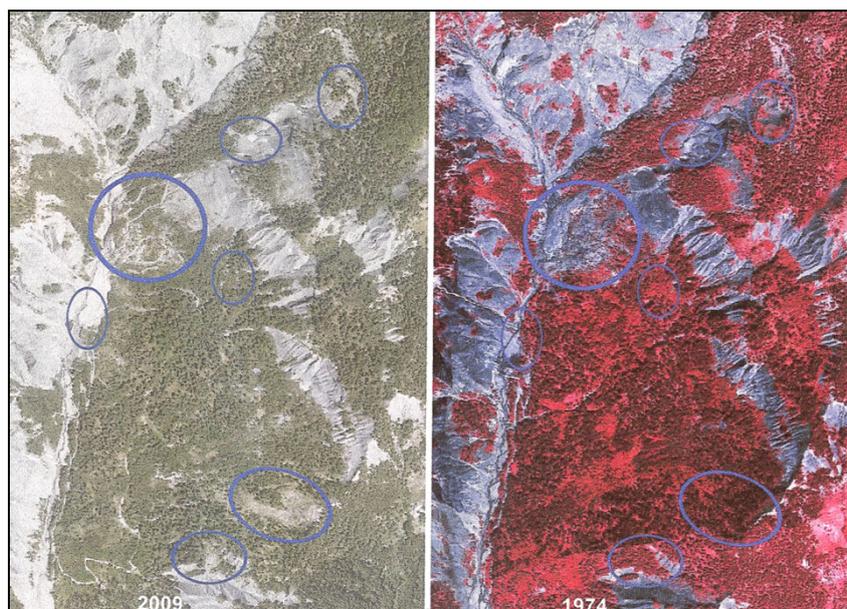


Figure 19 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 2009 et 1974 des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.

3.2. Diachronie à partir des photographies aériennes de 1956.

Cette seconde vision diachronique est réalisée à partir des photographies aériennes de 1956, disponibles uniquement en noir et blanc et non géoréférencées. L'analyse s'avère donc plus subjective en raison de la limite des capacités techniques du support.

3.2.1. État du secteur des Aiguettes en 1956.

La morphologie du secteur des Aiguettes semble connaître des modifications relativement importantes entre 1974 et 1956.

Le premier changement se situe au dessous du point n°11, au pied de l'escarpement principal. Cette zone est mise totalement à nu, sans végétation, avec un relief à l'apparence chaotique et de nombreux débris morainiques. Toutefois, la qualité de la photographie ne permet pas d'apporter d'avantage de précisions.

Ensuite, la zone d'escarpement au niveau du point n°10 paraît plus petite. Tout comme les secteurs de sagne.

Enfin, le dernier espace ayant été affecté se situe à la hauteur du glissement-coulée en *section 2*. Il semble que **la partie nord-est de l'escarpement secondaire n'existe pas encore**, en 1956, cette zone est recouverte par une surface chaotique identifiée comme une coulée, qui flue depuis la rive droite du torrent des Aiguettes jusque la zone d'accumulation du glissement complexe. Il est ainsi probable que durant la période entre 1956 et 1974, ce secteur ait été déstabilisé conduisant à la formation de l'escarpement rotationnel actuel. La zone source située à cet endroit ayant probablement joué un rôle décisif dans le processus d'instabilité, les matériaux alors assistés par ruissellement ont été entraînés vers l'aval. Il est à signaler qu'en 1956, le dépôt de coulée de débris ne figure pas sur la photographie aérienne, par conséquent, les deux phénomènes sont peut-être à corrélés.

Il apparaît également que **la zone d'accumulation du glissement complexe est plus étendue en 1956, la coulée recouvre la piste GR6-G56** jusqu'à former un bourrelet frontal une vingtaine de mètres plus loin. De plus, le glissement situé en rive gauche du torrent des Aiguettes est nettement plus étroit qu'en 1974. Il est peut être possible que les services du RTM qui ont dégagé la piste entre 1956 et 1974 ont tout simplement déposés les matériaux le

long de la rive gauche du torrent. Ce qui expliquerait ainsi la présence des débris et blocs volumineux constatés à cet endroit en 2009.

Enfin, au niveau de la zone d'accumulation du secteur des Aiguettes, il n'y a pas de changement notable par rapport à 1974.

Il semblerait de manière générale que le secteur d'instabilité des Aiguettes connaît une activité plus élevée en 1956 que durant 1974 et 2009, outre certaines zones localement. Les principaux changements sont illustrés sur la figure n°20.

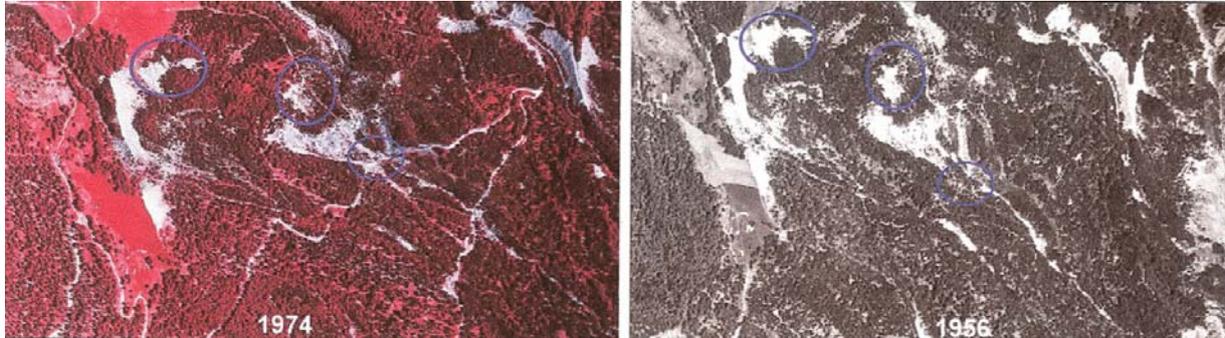


Figure 20 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 1974 et 1956 du secteur des Aiguettes. Source : Utasse, M, 2009.

3.2.2. État des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets en 1956.

Dans la continuité des observations effectuées sur les photographies aériennes de 1974, de nouvelles modifications de la morphologie des secteurs sont à indiquer.

Ainsi, en *section 1*, aucune information supplémentaire n'est à indiquer. Ensuite, concernant la *section 2*, de nouvelles modifications sont observées sur l'escarpement rotationnel n°1, celui-ci semble de taille plus réduite, notamment au niveau du point n°12. De même, le dépôt de coulée de débris situé à proximité est de taille plus petite. Au sein de la zone d'accumulation de ce secteur, il apparaît que dans l'ensemble les formes sont moins bosselées et, sur les deux dépôts de coulées encore existants en 1974 seulement une subsiste déjà en 1956, bien que nettement diminuée. Quant au couvert végétal, celui-ci est majoritairement forestier, avec peu de zones herbacées. Il peut également être constaté la nette diminution des zones de ruissellement par rapport à 1974, par conséquent, le secteur semble disposer de moins de sagnes, et celles existantes sont de taille nettement plus modeste.

Comme cité précédemment, la zone qui subie la majorité des changements concerne la *section 3*. Tout d'abord, au niveau du dépôt de coulée de débris, celui-ci apparaît d'autant plus diminuée qu'en 1974, avec la présence d'une ravine d'écoulement jusqu'au torrent du Riou-Bourdoux, désormais estompée et non observable sur le terrain. A préciser également que la zone humide près du point n°13 est très peu étendue par rapport à la surface qu'elle occupait en 1974 et 2009. Ce qui peut être à relier avec l'état du glissement A en 1956. Celui-ci semble très différent des observations précédentes. En premier lieu, le changement le plus marquant concerne la niche d'arrachement du glissement. Il semble que toute la partie droite de l'escarpement constaté en 1974 est inexistante en 1956, remplacée à l'époque par une vaste zone de ravinement. Cette zone de badlands ayant vraisemblablement disparue au profit de l'escarpement principal du glissement complexe A, pourrait expliquer le volume important de la coulée observée actuellement. **Le glissement-coulée A s'est donc formé à priori entre 1956 et 1974.** Il serait intéressant pour des travaux ultérieurs de corréler les valeurs annuelles de précipitations entre 1974 et 1956, afin d'établir un lien avec la formation du glissement. Un forçage climatique étant probablement à l'origine de la mobilisation d'une telle quantité de matériaux.

La partie ouest de l'escarpement semble déjà exister en 1956, toutefois, il est nettement plus petit. A noter la présence d'une importante zone non déstabilisée, boisée et entourée d'escarpements au milieu du glissement. Elle paraît ne pas être une masse glissée, mais plutôt une masse de terrain encore relativement en place et stable. Au dessous, se trouve une sorte de coulée mais de taille nettement plus réduite que celle observée en 1974 et 2009, elle a la particularité d'être recouverte de griffure à sa surface, et semble relativement homogène, avec un relief peu déstructuré. Ensuite, se situe une seconde zone stable également boisée, éventuellement constituée d'un replat. Un escarpement secondaire marque sa limite, ainsi qu'un autre perpendiculaire au premier. Il s'agit probablement de niches d'arrachement secondaires du glissement, aujourd'hui totalement disparues.

Enfin, à l'aval, la zone apparaît déstructurée, au relief sûrement bosselé, du même type que la coulée observée en 1974 et 2009, avec un important bourrelet frontal au pied du torrent du Riou-Bourdoux. Par conséquent, **il semblerait qu'en 1956, le glissement-coulée A, ne connaisse pas le même degré d'activité et d'instabilité qu'en 1974 et 2009. L'ensemble des espaces du glissement et des matériaux ne sont pas encore totalement mobilisés.**

Pour finir, la *section 4* localisée au niveau des Fraissinets semble être moins actif que durant les deux autres périodes étudiées. Le même type d'observations que la diachronie précédente peut être réalisé.

Tout d'abord, il apparaît que les limites des niches d'arrachement sont moins reculées, la zone éboulée le long du glissement ancien ne semble pas s'être encore effondrée totalement, et la crête servant de frontière entre Pra Bellon et les Fraissinets est inexistante. Par conséquent l'amas de blocs au pied des escarpements est plus petit, ainsi que le dépôt de coulée de débris. Puis, les escarpements multiples situés au dessus du point n°15 sont moins prononcés, de taille plus réduite et moins nombreux, signe d'une activité plus faible en 1956 sur cette zone. A noter que le glissement de berge situé en aval de la zone d'accumulation est inexistant en 1956. Enfin, la végétation paraît clairement moins abondante que durant les autres périodes observées. Cependant, le RTM a entrepris plusieurs campagnes de reboisement sur les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets entre 1956 et 2009, afin de tenter de stabiliser certaines zones de glissement. Raison pour laquelle, au pied des glissements actuels, il peut être observé de nombreux petits résineux.

Il semblerait donc que les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets connaissent globalement un accroissement constant de leur activité entre 1956 et 2009. Les zones instables analysées sur le terrain, correspondant à celles observées grâce à la diachronie.

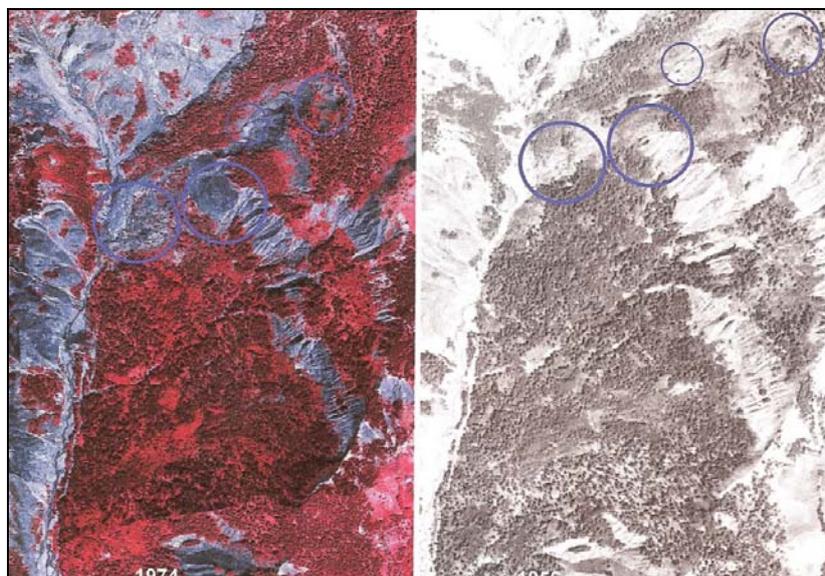


Figure 21 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 1974 et 1956 des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.

Grâce à l'analyse géomorphologique des glissements en 2009 et de leur diachronie sur 53 ans, il est désormais possible de réaliser une interprétation morphodynamique, et ainsi déterminer leur possible degré d'activité et d'aléa.

IV. Interprétation morphodynamique des glissements de terrains étudiés, résultats et perspectives.

4.1. Estimation de l'activité des glissements, des processus d'instabilité et gestion de l'aléa.

4.1.1. Le glissement rotationnel des Aiguettes.

Le glissement de terrain du secteur des Aiguettes, peut désormais être identifié comme **un glissement de type rotationnel emboîté, composé de trois niches d'arrachement principales.**

Concernant son degré d'activité grâce à la vision diachronique, bien que cette estimation soit subjective et repose sur l'appréciation de l'auteur, notamment concernant les périodes de retour, il semblerait que **le glissement des Aiguettes soit très actif localement**, avec une fréquence de réactivation probablement inférieure à un an. Il s'agit surtout du glissement-coulée situé en section 2 en rive gauche et droite du torrent des Aiguettes, ainsi que la zone de fissures situées au niveau de la niche d'arrachement principale du glissement, entre les points n°6 et n°11.

Ensuite certaines zones comme le pied des escarpements principaux, et globalement l'ensemble de la *section 1* peuvent être considérées à l'échelle locale comme des secteurs actifs intermittents, avec une période de retour évoluant selon les zones, d'un an à plusieurs années, l'échelle spatiale étant trop mince pour pouvoir toutes les distinguer.

Enfin, la zone d'accumulation du glissement des Aiguettes semble être en voie de stabilisation, tout comme une partie de la *section 2*. L'activité y est faible à nulle avec une période de retour de plusieurs années à plusieurs décennies, voir davantage.

Grâce aux travaux réalisés, il est désormais possible d'émettre des hypothèses quant aux facteurs de prédisposition et de déclenchement, responsables de la réactivation et de l'évolution du glissement de terrain du secteur des Aiguettes, en fonction des degrés d'activité pour chaque secteur.

Les facteurs de prédisposition supposés du glissement sont :

- **La couverture morainique**, qui dont la propriété est d'être une formation meuble à matrice argileuse discontinue avec des blocs hétérométriques, peu consolidée, et friable. Elle présente de nombreux macropores qui **laissent l'eau s'infiltrer et circuler par inféroflux, ce qui remanie en permanence le terrain**. De plus les moraines créent un **contraste de perméabilité avec le substratum**, engendrant de nombreuses sources et retenues d'eau, qui déstabilisent progressivement le terrain.
- **La topographie en pente**, une déclivité supérieure à 20°, permettant de mobiliser les matériaux, d'autant plus qu'ils sont assistés par un agent de transport.
- **La cryoclastie et la thermoclastie** qui usent et fracturent progressivement la roche, ouvrant ainsi des voies préférentielles de circulation de l'eau.

Les facteurs de déclenchement supposés du glissement sont :

- **La fonte saisonnière des neiges**, mobilisant de grandes quantités d'eau sur une courte période et sur un espace déjà sensible. Les eaux s'infiltrent et/ou ruissellent, ce qui réalimente périodiquement le glissement.
- **Les fortes précipitations, sous-forme solide ou liquide**. Notamment les orages violents en été qui saturent le sol en eau sur un espace réduit durant une petite période.
- **L'augmentation de la pression interstitielle dans les terrains** (principalement par les eaux d'infiltration).
- **Le déboisement**, anciennement anthropique, mais aujourd'hui naturel, engendré par la déstabilisation des terrains, ce qui entretient le processus. Ou bien toute absence de couverture végétale.

Ainsi, en moyenne, **le degré de l'aléa pour l'ensemble du glissement des Aiguettes est aujourd'hui faible à moyen**, il n'y a pas d'enjeux de population, ni d'infrastructures, omis la route forestière et les canalisations d'eau.

En matière de gestion du risque, le RTM a effectué des travaux en 1995 pour le drainage par ravin aérien sur le glissement-coulée (Stien, 2001). Mais il n'existe pas à l'heure actuelle de modalités de surveillance et/ou de poste de secours mis en place. La seule réglementation concerne le PER de Saint Pons daté de 1994. Éventuellement obsolète aujourd'hui sur certains des secteurs du glissement.

4.1.2. La complexité des glissements de Pra Bellon et des Fraissinets.

Concernant les secteurs de glissement de Pra Bellon et des Fraissinets, il semblerait que **toute la rive gauche du Riou-Bourdoux, corresponde à un ensemble de glissements de terrain emboîtés les uns contre les autres**, affectant selon les zones, aussi bien les marnes altérées en surface que le substratum de marnes noires.

L'activité de ces glissements s'avère relativement complexe, ainsi pour une meilleure compréhension, il est nécessaire de procéder selon l'évolution chronologique des mouvements :

- D'après les ressources bibliographiques, la naissance des mouvements remonterait à la dernière glaciation avec le recul des glaciers épaulant les crêtes, provoquant ainsi un écoulement latéral.
- Ensuite **en 1663, les premiers désordres sont recensés**. Au niveau des glissements rotationnels centraux. Le Capitoul du 1^{er} avril interdit tout pâturage et cite « *vu que de là procèdent à la ruine et inondation des biens et propriétés inférieures* » (PER Saint Pons). Actuellement, ces zones de glissement semblent avoir des **vitesse de déplacement faibles avec une masse mobilisable importante**, où le pied du versant est plus ou moins calé. Au niveau des escarpements principaux, la présence d'un début de ravinement à leur surface est le signe d'une certaine ancienneté. Ils ont peu ou pas évolué sur toute la période étudiée. Ainsi, ils sont qualifiés d'actifs intermittents à dormants selon les zones avec une activité modérée à faible et une période de retour de plusieurs décennies à une centaine d'années. Un forçage climatique est probablement indispensable pour engendrer une réactivation de ces secteurs.
- Avant 1880, des évènements de laves torrentielles sont recensés.
- 1880-1890, stabilisation des secteurs par des campagnes intensives de reboisement et la construction d'ouvrages de génie civil (barrages, seuils...).
- 1956 à 1963, reprise de mouvement, notamment au niveau du glissement A, et dernière grande lave torrentielle recensée. Le glissement adjacent évoluant en coulée

- **En 1970, le glissement A devient très actif avec des reprises d'activité fréquentes.** Il combine un glissement rotationnel en masse dans les marnes noires en zone centrale avec un éboulement en partie sommitale non déplacé et une coulée boueuse en aval.
- Entre 1970 et 1971, au dégel, il est signalé que le front de la coulée s'avance jusqu'à obstruer le torrent du Riou-Bourdoux, qui se fraie alors un passage dans ces matériaux sans cohésion, créant un départ de lave.
- **Entre 1971 et 1973, le mouvement est très rapide, créant une avancée de 40m au niveau de la langue de coulée. Les vitesses de déplacement enregistrées sont de 5cm par jour** durant cette période (Delsigne, 1999). Le torrent qui s'écoule au pied du versant instable, crée de nouveaux sapements de berge, ce qui déstabilise le pied de la coulée et entretient le processus. Les premiers glissements translationnels de berge datent probablement de cette époque.
- A partir de 1974, le glissement A semble se stabiliser, le mouvement est toujours actif, mais avec un déplacement plus lent à moyennement rapide selon les contraintes exercées. L'aléa n'en demeure pas moins élevé, d'autant plus que l'apparition d'une lave est toujours possible, engendré par l'érosion torrentielle puisque beaucoup de pression est exercée localement, il est possible que le barrage naturel cède. Le RTM a entrepris des travaux de reboisement sur le pied de la coulée pour tenter de limiter son extension, tout comme des travaux de drainage du glissement par ravine. Toutefois, celles-ci sont rapidement comblées. Il est nécessaire de reproduire ces ouvrages tous les cinq ans.
- Entre 1974 et 2009, se forment les glissements en *section I*, à savoir le glissement translationnel en bord de ravine et le glissement-coulée de la crête de Chalanche. Du fait qu'ils soient récents, leur degré d'aléa estimé est fort, avec une activité fréquente probablement annuelle. Il en va de même pour les nombreuses coulées de débris présentes sur le centre de Pra Bellon, puisqu'elles restent très instables et sensibles aux facteurs de déclenchement.

Au sujet du glissement des Fraissinets, son origine remonte vraisemblablement à la même époque que les premiers désordres observés sur le centre de Pra Bellon. Toutefois, en raison de l'activité constatée sur le terrain et l'évolution rapide observée sur la diachronie, il est estimé en tant **qu'aléa fort, très instable au niveau des escarpements et de la partie supérieure de la zone d'accumulation**. La fréquence d'activité du mouvement doit être inférieure à un an. Tout comme le glissement de berge situé en aval, par ailleurs toute la berge du Riou Chamous est évaluée en aléa modéré, de nouveaux glissements pouvant ultérieurement se former par érosion torrentielle. En revanche, la partie inférieure de la zone d'accumulation est considérée comme modérée à faible, du fait que peu de changements sont observés avec la diachronie. Il tend à penser que cette zone est peut-être en voie de stabilisation.

Comme expliqué précédemment, il est désormais possible de formuler des hypothèses sur les facteurs de prédisposition et les facteurs de déclenchement des instabilités du versant en rive gauche du Riou-Bourdoux. Évoluant bien sûr quelque peu selon les secteurs.

Les facteurs de prédisposition supposés des glissements sont :

- **Les caractéristiques rhéologiques des marnes**, comme expliqué en partie II-2.2.2 du rapport, et **leur état d'altération**.
- La topographie de la pente, relativement élevée au niveau des escarpements, une déclivité de 25 à 30°, suffisante pour mobiliser les marnes.
- **Le pendage des marnes conforme à la pente**.

- **La cryoclastie et la thermoclastie** qui usent et fracturent également cette roche argileuse, ouvrant ainsi des voies préférentielles de circulation de l'eau, comme les fentes de dessiccation, et le délitement en plaquettes.

Les facteurs de déclenchement supposés des glissements sont :

- **La fonte des neiges**, pour les mêmes raisons que cité précédemment.
- **Les fortes précipitations** liquides ou solides qui altèrent les marnes et créent des ruissellements importants, notamment les orages.
- **L'augmentation de la pression interstitielle** qui dilate et déstructure les marnes en les saturant en eau, celle-ci est provoquée par les évènements précédents.
- **L'affouillement des berges**, notamment sur le Riou-Bourdoux, qui dégrade la butée de pied des glissements.
- **L'absence de couverture végétale.**

Le risque pour ces deux secteurs de mouvements de terrain résulte principalement du déclenchement possible d'une lave torrentielle (estimée selon les sources entre 300 000 et 500 000m³). Les enjeux et éléments exposés concernent des bâtiments situés sur la zone industrielle et artisanale du cône de déjection du Riou-Bourdoux, de l'aérodrome, du hameau de Lara, de la route départementale 900 et de la route forestière de la Pare. Enfin, l'Ubaye peut également être affectée.

En matière de gestion du risque, la commune de Saint Pons se doit d'entretenir les digues sur le cône de déjection et de procéder à un curage fréquent du lit du Riou-Bourdoux et du Riou Sec. A rappeler que celui-ci a été creusé artificiellement dans le but de dévier le surplus d'une possible lave dans le torrent du Riou-Bourdoux. Enfin, le RTM entretient les barrages et les seuils. A noter que le barrage à quatre marches situé sous le glissement A, a été surélevé de 9m et renforcé suite aux évènements des années 1970. Le PER de 1994 de la commune de Saint Pons est également en vigueur, et il n'existe pas de station de surveillance à l'heure actuelle.

4.2. Perspectives d'évaluation qualitative du degré d'aléa des secteurs étudiés.

Grâce à l'ensemble des informations renseignées, il est désormais possible d'évaluer qualitativement le degré d'aléa, pour les secteurs étudiés et cartographiés. En rappelant que l'aléa correspond à la probabilité spatiale (le degré de susceptibilité aux mouvements de terrain) tout en y incorporant une dimension temporelle. A rappeler qu'il s'agit d'une évaluation relativement subjective et variable selon l'opinion des personnes en charge de l'appréciation (Thiery, 2007).

<i>Degré d'aléa</i>	<i>Définition</i>
<i>A1 : Aléa nul</i>	Aucune possibilité de déclenchement et/ou de réactivation. Les conditions environnementales locales contribuent à renforcer la stabilité des terrains.
<i>A2 : Aléa faible</i>	Possibilité faible de déclenchement et/ou de réactivation. Les conditions environnementales locales sont faiblement favorables au déclenchement et/ou réactivation de mouvements de terrain. Un forçage des facteurs déclenchants pouvant conduire vers la déstabilisation.

<p>A3 : <i>Aléa modéré</i></p>	<p>Possibilité modérée de déclenchement et/ou de réactivation. Les conditions environnementales locales sont favorables au déclenchement et/ou réactivation de mouvements de terrain. La zone est déjà instable, et peut se dégrader davantage.</p>
<p>A4 : <i>Aléa fort</i></p>	<p>Possibilité forte de déclenchement et/ou de réactivation. Les conditions environnementales locales sont très favorables au déclenchement et/ou réactivation de mouvements de terrain. La zone est déjà très instable et fortement dégradée.</p>

Figure 22 : Tableau de classes d'aléa « mouvement de terrain » pour les secteurs étudiés.

Source : Utasse. M, adapté et simplifié de Thiery, Malet et al., 2006.

4.2.1 Rendu cartographique du degré d'aléa sur le secteur des Aiguettes.

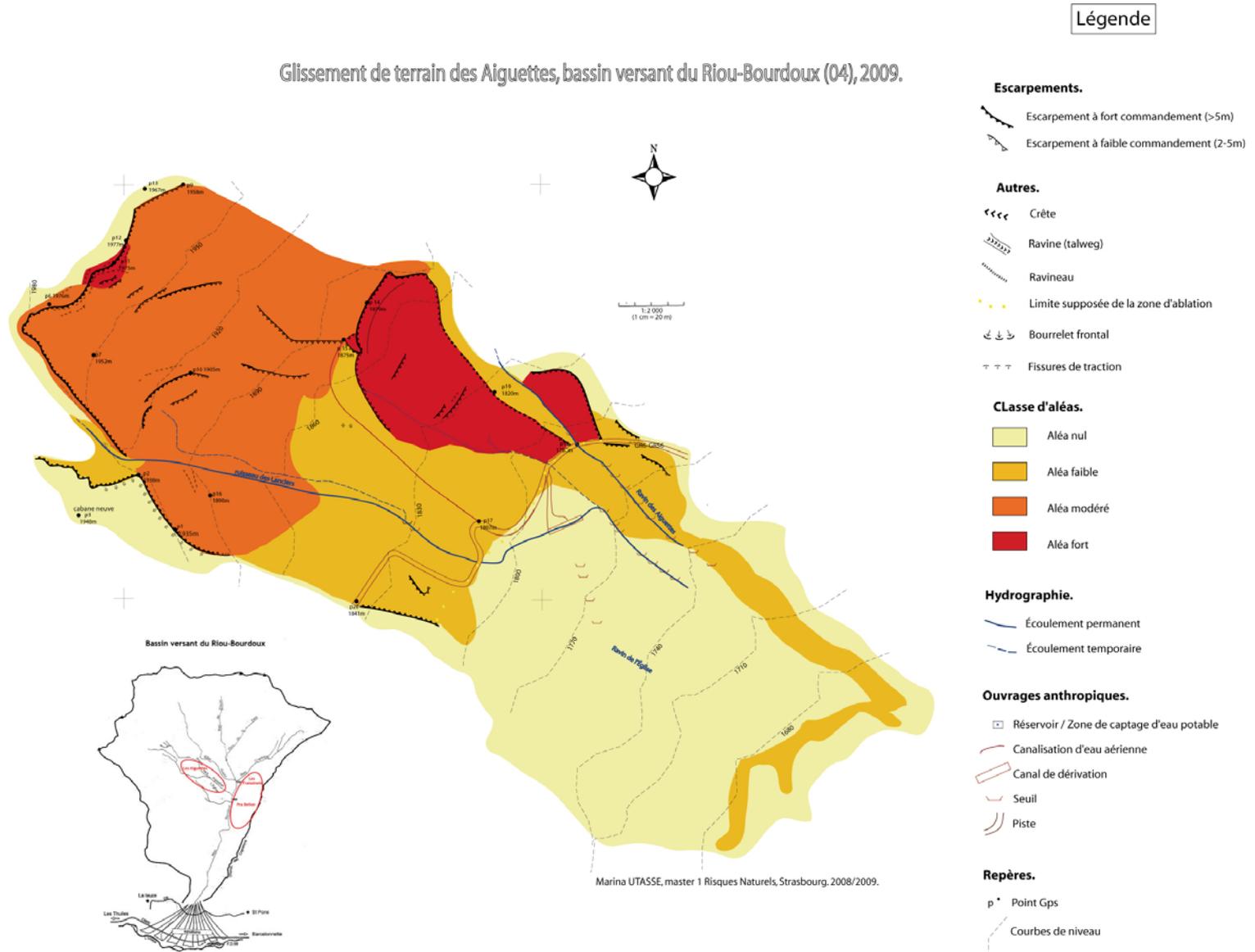


Figure 23 : Carte d'aléa du glissement de terrain des Aiguettes. Source : Utasse. M, 2009

4.2.2. Rendu cartographique du degré d'aléa sur les secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets.

Glissements de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 2009.

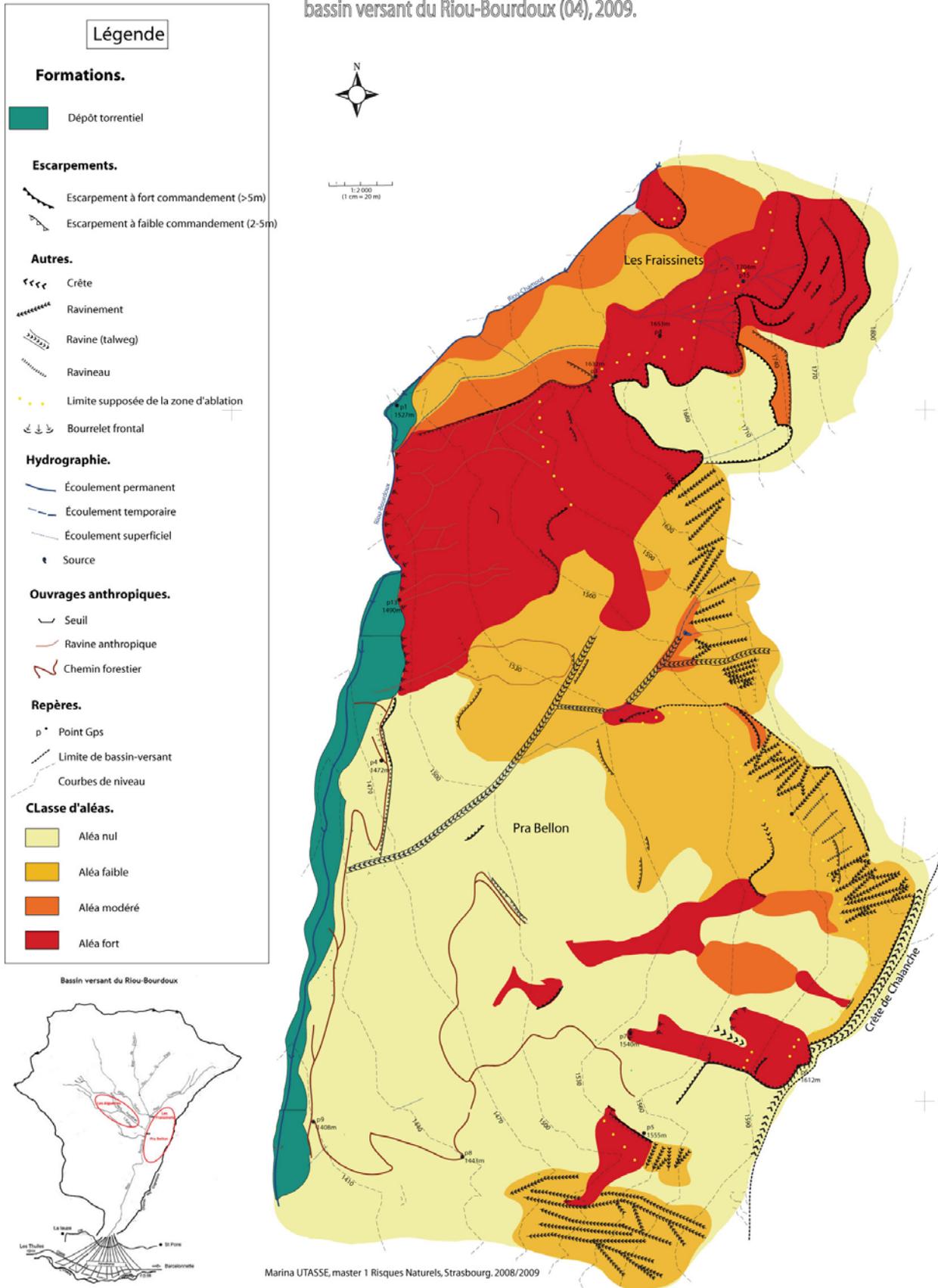


Figure 24 : Carte d'aléa des glissements de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.

Conclusion Générale.

Cette étude située dans la continuité des travaux de Thiery (2207), avait pour objectif d'établir une cartographie morphodynamique à l'échelle locale 1/2000^{ème}, de trois glissements actifs, représentatifs des conditions géomorphologiques locales du bassin versant du Riou-Bourdoux. Grâce notamment à des levés de terrain, l'utilisation de DAO, et à la vision diachronique réalisée à partir de la photo-interprétation.

Il a été ainsi possible de mieux comprendre les processus d'instabilité de des secteurs, de les identifier et de porter une analyse qualitative spatiale et temporelle de ces phénomènes. Permettant par la suite d'estimer le niveau d'activité de l'ensemble des glissements étudiés, d'émettre des hypothèses quant aux facteurs de prédisposition et de déclenchement responsables de la déstabilisation des terrains. Ce qui a permis de réaliser une cartographie de l'aléa.

Toutefois, il ne s'agit que d'un travail préalable, cette cartographie étant un outil de base pour la gestion du risque mouvement de terrain sur la commune de Saint Pons. En conséquence, la méthodologie employée présente quelques limites, comme le souci d'accessibilité à certains secteurs sur le terrain, la difficulté d'acquérir les informations et le souci de leur lisibilité.

Enfin, pour compléter ce travail, il s'avère nécessaire ultérieurement de corrélérer ces résultats de type qualitatifs avec des informations quantitatives complémentaires (sondages géotechniques, mesure de la teneur en eau des sols remaniés, diagrammes ombrothermiques sur les normales...), afin de pouvoir observer d'éventuelles convergences avec le degré d'activité des mouvements de terrain et leur évolution.

Table des Figures.

Figure 1 : Carte de localisation du bassin de Barcelonnette. Source : Utasse. M, adapté de Delsigne. F, 1999.	4
Figure 2 : Carte de localisation du bassin versant du Riou-Bourdoux. Source : Utasse. M, adapté de Delsigne. F, 1999.	6
Figure 3 : Bassin versant du Riou-Bourdoux et localisation des glissements étudiés. Source : Utasse. M, adapté de Delsigne. F, 1999.	8
Figure 4 : Méthodologie générale. Source : Utasse. M, 2009.	9
Figures 5 et 6 : Localisation du glissement des Aiguettes. Source : Utasse. M, 2009.	11
Figures 7 et 8 : Photographies des escarpements de tête du glissement des Aiguettes. Cliché : Utasse. M, 2009.	12
Figure 9 : Photographie prise à l'ouest du point n°10, témoignant du bossellement important et de la forêt ivre. Cliché : Utasse. M, 2009.	12
Figures 10 et 11 : Photographies de la coulée en rive droite du torrent des Aiguettes, de profil, sous l'escarpement tertiaire et en vue plongeante vers l'aval. Clichés : Moine. M, 2009.	13
Figure 12 : Photographie du glissement en rive gauche de torrent des Aiguettes, section 2. Cliché Moine. M, 2009.	13
Figure 13 : Localisation du glissement de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.	16
Figure 14 : Tête du glissement-coulée de la <i>section 1</i> . Cliché : Mathieu. A, 2009.	16
Figure 15 : Escarpements de tête de Pra Bellon, <i>section 2</i> . Cliché : Utasse. M, 2009.	17
Figure 16 : Photographie générale du glissement-coulée du nord de Pra Bellon. Cliché : Utasse. M, 2009.	18
Figure 17 : Photographie générale du glissement des Fraissinets. Cliché : Utasse. M, 2009.	19
Figure 18 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 2009 et 1974 du secteur des Aiguettes. Source : Utasse. M, 2009.	22
Figure 19 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 2009 et 1974 des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.	24
Figure 20 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 1974 et 1956 du secteur des Aiguettes. Source : Utasse. M, 2009.	25
Figure 21 : Vision diachronique et localisation des principales évolutions entre les photographies aériennes de 1974 et 1956 des secteurs de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.	26
Figure 22 : Tableau de classes d'aléa « mouvement de terrain » pour les secteurs étudiés. Source : Utasse. M, adapté et simplifié de Thiery, Malet et al., 2006.	31
Figure 23 : Carte d'aléa du glissement de terrain des Aiguettes. Source : Utasse. M, 2009.	32
Figure 24 : Carte d'aléa des glissements de Pra Bellon et des Fraissinets. Source : Utasse. M, 2009.	33

Table des Annexes.

Annexe 1 : Photographies du Riou-Bourdoux.	38
Annexe 2 : Exemples schématiques d'aléas « glissements de terrain » rencontrés sur le bassin versant du Riou-Bourdoux.	39
Annexe 3 : Extrait de la carte ZERMOS de Barcelonnette, et des sites cartographiés.	39
Annexe 4 : Exemples de croquis réalisés lors du levé de terrain.	40
Annexe 5 : Coordonnées complètes des relevés GPS sur les cartes des secteurs des Aiguettes et Pra Bellon, Fraissinets.	40
Annexe 6 : Carte de photographies du glissement de terrain des Aiguettes. Utasse. M, 2009.	43
Annexe 7 : Carte de photographies des glissements de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets. Utasse. M, 2009.	44

Table des Planches.

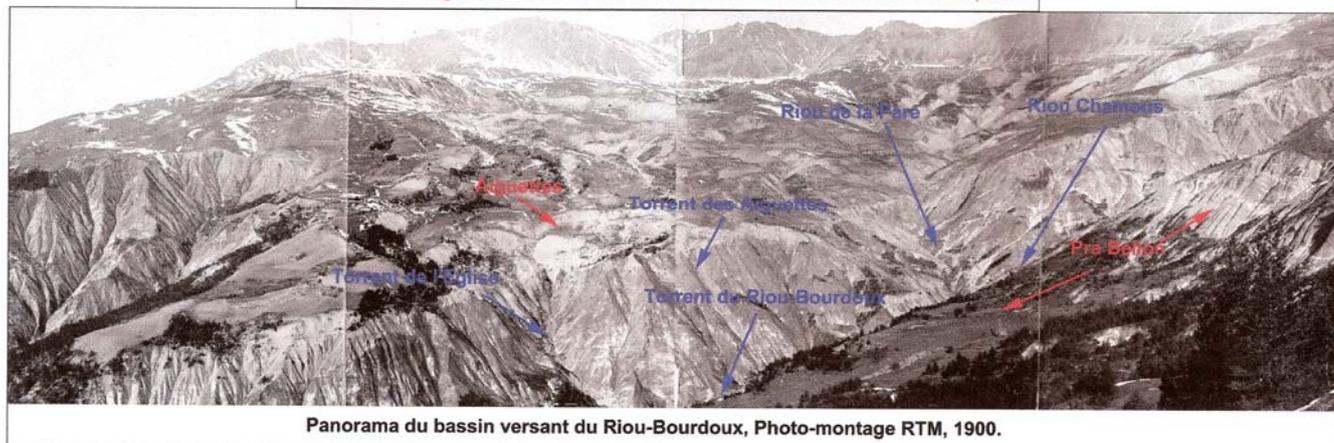
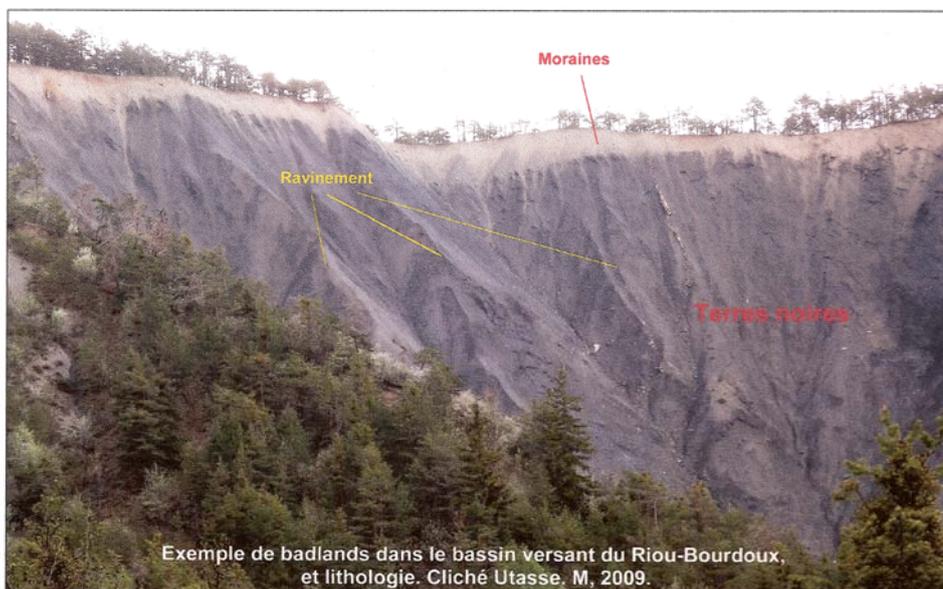
Planche 1 : Cartographie du glissement de terrain des Aiguettes, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 2009. Source : Utasse. M, 2009.
Planche 2 : Cartographie du glissement de terrain des Aiguettes, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 1974. Source : Utasse. M, 2009.
Planche 3 : Cartographie du glissement de terrain des Aiguettes, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 1956. Source : Utasse. M, 2009.
Planche 4 : Cartographie du glissement de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 2009. Source : Utasse. M, 2009.
Planche 5 : Cartographie du glissement de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 1974. Source : Utasse. M, 2009.
Planche 6 : Cartographie du glissement de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets, bassin versant du Riou-Bourdoux (04), 1956. Source : Utasse. M, 2009.

Références.

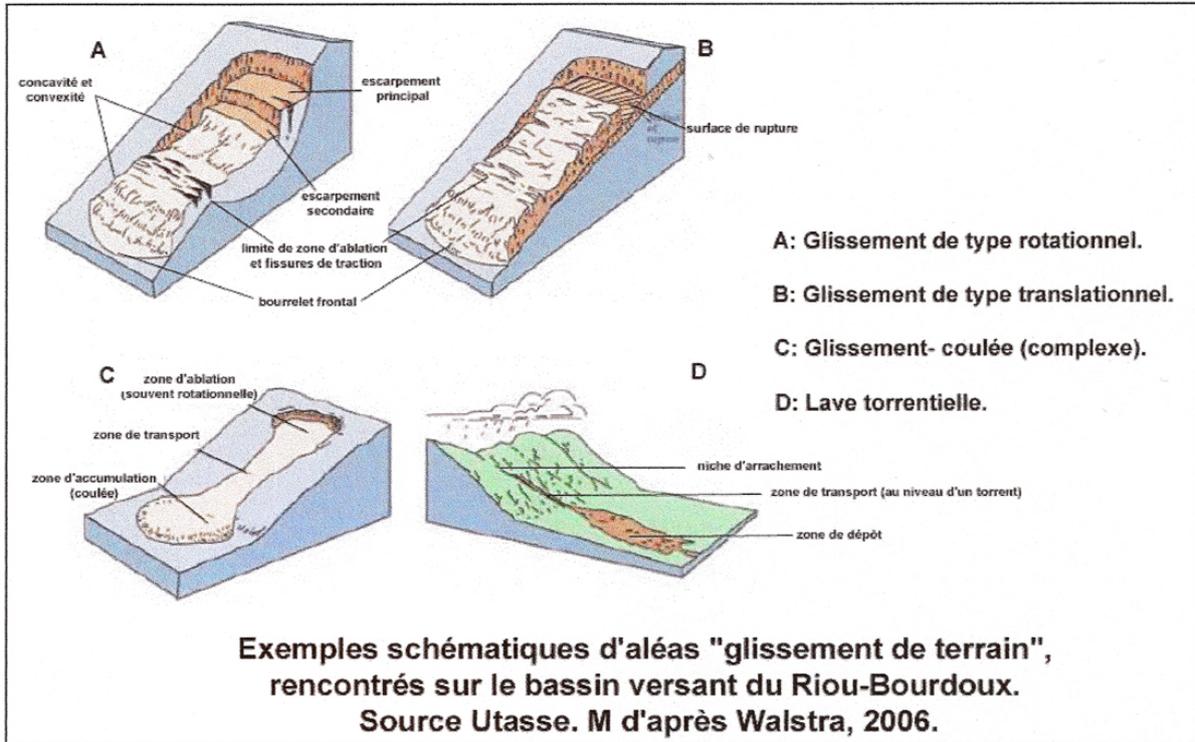
- Arnaud, F. (2007). Influence de la végétation arborée sur l'activité de glissements de terrain superficiels. Mémoire de stage, Master 2 Risques Naturels. **70**, Université Louis Pasteur / ENGEES, Strasbourg.
- BRGM. (1974). Carte géologique, 1/50 000ème, Feuille de Barcelonnette. XXXV-39, 895.
- Delsigne, F (1999). Éléments de morphodynamique torrentielle et cartographie des instabilités de surface dans le bassin versant du Riou-Bourdoux. Mémoire de DEA Géographie. **126**, Université des Sciences et Technologies de Lille.
- Delsigne, F., Lahousse, P., Flez, C., Guiter, G. (2001). Le Riou-Bourdoux : « un monstre » alpin sous haute surveillance. *Revue forestière française*. **13**, LII : 527-540.
- Dikau, R., Brunsden, D., Schrott, L., Isben, M. L. (1996). Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes. *John Wiley & Sons*, Chichester. **251**.
- Flageollet, J. C. (1989). Les Mouvements de Terrain et leur Prévention. **224**. Masson, Paris.
- IGN. (2000). Carte topographique, 1/25 000ème, Aiguille de Chambeyron, cols de Larche et de Vars. 3538.
- Joly, F. (1997). Glossaire de Géomorphologie, Base de données sémiologiques pour la cartographie. **77**, 91-168. Armand Colin, Paris.
- Lefèvre, C., Schneider, J. (2003). Les Risques Naturels Majeurs. *GB Science Publisher, collection Géosciences*, Paris. **324**.
- Légier, A. (1977). Mouvements de terrain et évolution récente du relief dans la région de Barcelonnette (Alpes de Haute Provence). Thèse de Doctorat. **163**, Université Joseph Fourier, Grenoble.
- 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. **364**, Université Louis Pasteur, Strasbourg.
- Orthophotoplans de 2004, 1970, et 1956.
- Stien, D. (2001). Inventaire des glissements de terrain et des enjeux dans la vallée de l'Ubaye et le pays de Seyne. Mémoire de maîtrise IUP Environnement et Aménagement du territoire (USTL, ENVAR, RTM).
- Thiery, Y. (2007). Susceptibilité du Bassin de Barcelonnette (Alpes du Sud, France) aux mouvements de versant : cartographie morphodynamique, analyse spatiale et modélisation probabiliste. Thèse de Doctorat. 445, Université de Caen Basse-Normandie.

Annexes.

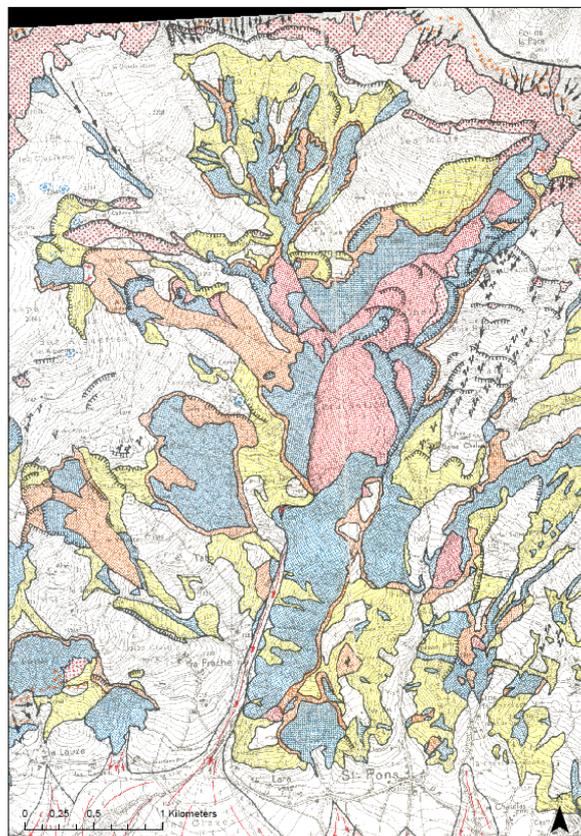
Annexe 1 : Photographies du Riou-Bourdoux.



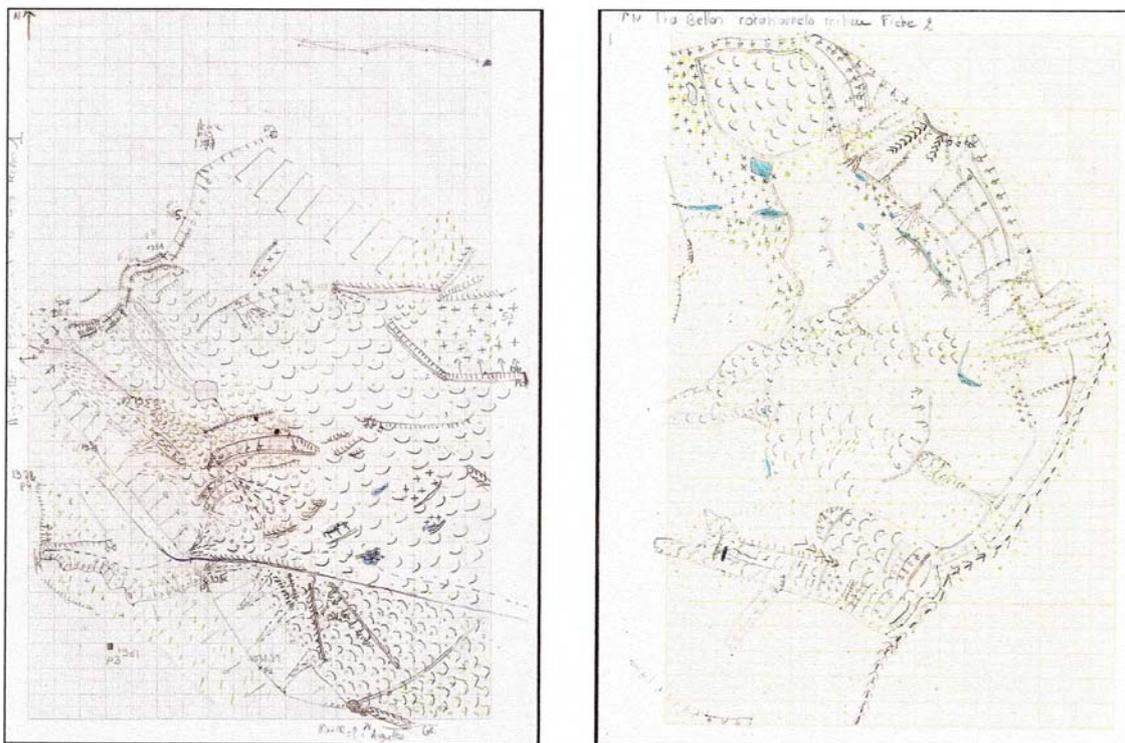
Annexe 2 : Exemples schématiques d'aléas 'glissement de terrain' rencontrés sur le bassin versant du Riou-Bourdox.



Annexe 3 : Extrait de la carte ZERMOS de Barcelonnette, et des sites cartographiés.



Annexe 4 : Exemples de croquis réalisés lors du levé de terrain.

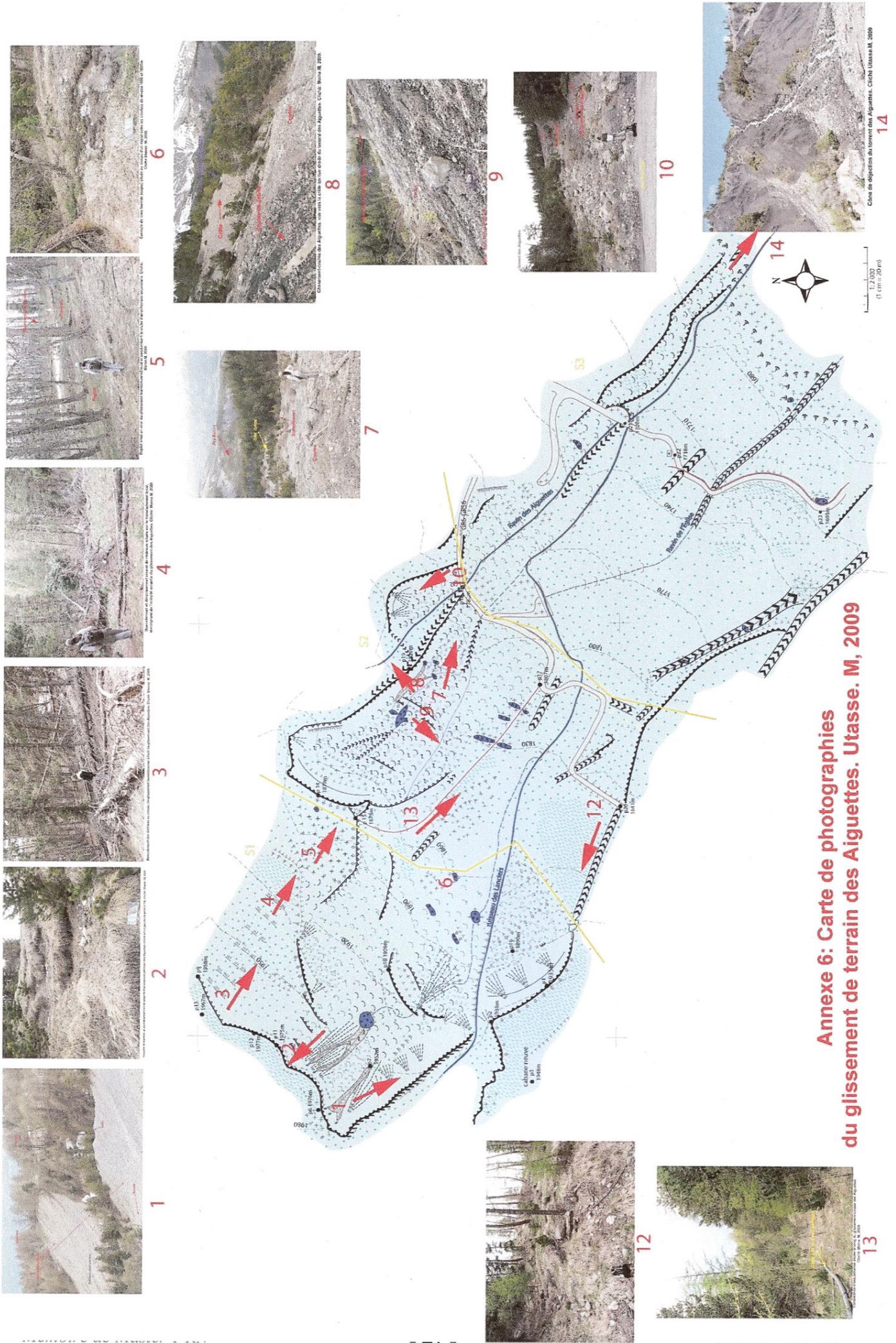


Annexe 5 : Coordonnées complètes des relevés GPS sur les cartes des secteurs des Aiguettes et Pra Bellon, Fraissinets.

Coordonnées complètes des relevés GPS, Lambert III, 2009					
Pra Bellon – Les Fraissinets			Les Aiguettes		
Section 1 :			Section 1 :		
Pts id n°5 :	Altitude (m) :	1555	Pts id n°2 :	Altitude (m) :	1938
	Latitude :	243804		Latitude :	244767
	Longitude :	941411		Longitude :	939730
Pts id n°6 :	Altitude (m) :	1612	Pts id n°3 :	Altitude (m) :	1948
	Latitude :	243864		Latitude :	244747
	Longitude :	941623		Longitude :	939642
Pts id n°7 :	Altitude (m) :	1540	Pts id n°5 :	Altitude (m) :	1935
	Latitude :	243908		Latitude :	244677
	Longitude :	941460		Longitude :	939770
Pts id n°8 :	Altitude (m) :	1443	Pts id n°6 :	Altitude (m) :	1976
	Latitude :	243814		Latitude :	245041
	Longitude :	941187		Longitude :	939690
Pts id n°9 :	Altitude (m) :	1408	Pts id n°7 :	Altitude (m) :	1952
	Latitude :	243739		Latitude :	244977
	Longitude :	941011		Longitude :	939722

Section 2 :				Altitude (m) :	1958
Pts id n°11 :	Altitude (m) :	1584	Pts id n°9 :	Latitude :	245168
	Latitude :	244188		Longitude :	939859
	Longitude :	941595			
			Pts id n°10 :	Altitude (m) :	1905
Pts id n°12 :	Altitude (m) :	1539		Latitude :	244947
	Latitude :	244295		Longitude :	939864
	Longitude :	941413			
Section 3 :			Pts id n°11 :	Altitude (m) :	1975
Pts id n°4 :	Altitude (m) :	1472		Latitude :	245096
	Latitude :	244238		Longitude :	939764
	Longitude :	941081			
			Pts id n°12 :	Altitude (m) :	1977
Pts id n°13 :	Altitude (m) :	1490		Latitude :	245119
	Latitude :	244441		Longitude :	939778
	Longitude :	941121			
Section 4 :			Pts id n°13 :	Altitude (m) :	1967
Pts id n°1 :	Altitude (m) :	1527		Latitude :	245175
	Latitude :	244670		Longitude :	939819
	Longitude :	941120			
			Pts id n°16 :	Altitude (m) :	1890
Pts id n°3 :	Altitude (m) :	1632		Latitude :	244757
	Latitude :	244710		Longitude :	939823
	Longitude :	941452			
Section 2 :			Pts id n°14 :	Altitude (m) :	1879
Pts id n°14 :	Altitude (m) :	1653		Latitude :	245008
	Latitude :	244754		Longitude :	940030
	Longitude :	941452			
			Pts id n°15 :	Altitude (m) :	1875
Pts id n°15 :	Altitude (m) :	1704		Latitude :	244954
	Latitude :	244845		Longitude :	940001
	Longitude :	941566			
			Pts id n°17 :	Altitude (m) :	1807
				Latitude :	244752
				Longitude :	940161
			Pts id n°18 :	Altitude (m) :	1788
				Latitude :	244860
				Longitude :	940264
			Pts id n°19 :	Altitude (m) :	1820
				Latitude :	244929
				Longitude :	940193
			Pts id n°20 :	Altitude (m) :	1841
				Latitude :	244628
				Longitude :	939972

Section 3 :				
	Pts id n°21 :	Altitude (m) :	1720	
		Latitude :	244731	
		Longitude :	940470	
	Pts id n°22 :	Altitude (m) :	1718	
		Latitude :	244661	
		Longitude :	940455	
	Pts id n°23 :	Altitude (m) :	1695	
		Latitude :	244431	
		Longitude :	940386	



Annexe 6: Carte de photographies du glissement de terrain des Aiguettes. Utasse. M, 2009



1



2



3



4



5



6



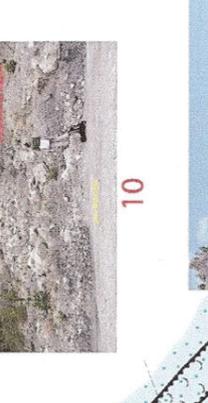
7



8



9



10



11



12

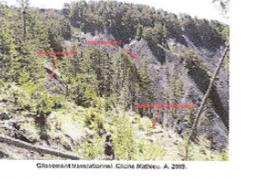


13



14

Cône de déjection du torrent des Aiguettes. Cliché Utasse M, 2009



10
9
8
7
6
5
4
3
2
1



Annexe 7: Carte de photographies des glissements de terrain de Pra Bellon et des Fraissinets. Utasse. M, 2009.

