



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

Document à accès immédiat

# Caractéristiques géologiques des sites d'études du Guil (commune d'Aiguilles) et de l'Arly (commune de Cohennoz), Alpes - projet Miroir

Rapport final

**BRGM/RP-72686-FR**

Version finale du 12 mars 2023

Etude, prestation, expertise

Lacquement Frederic

**Vérificateur :**

Nom : CALLEC Yannick

Fonction : Responsable Unité DGR/CGEO

Date : 24/04/2023

Signature :   
Yannick CALLEC  
Responsable de l'Unité DGR/CGEO  
Cartographie Géologique des territoires

**Approbateur :**

Nom : BUSCHAERT Stephane

Fonction : Directeur Auvergne Rhône Alpes

Date : 09/05/2023

Signature :   
S. BUSCHAERT



UNION EUROPÉENNE  
Fonds Européen de  
Développement Régional



EN PARTENARIAT AVEC LA RÉGION AUVERGNE-RHÔNE-ALPES

Avec le soutien de



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

FONDS NATIONAL  
D'AMENAGEMENT  
ET DE DEVELOPPEMENT  
DU TERRITOIRE  
Massif des Alpes

**Le système de management de la qualité et de l'environnement du BRGM  
est certifié selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.  
Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)**

## Avertissement

Ce rapport est adressé en communication exclusive au demandeur, au nombre d'exemplaires prévu.

Le demandeur assure lui-même la diffusion des exemplaires de ce tirage initial.

La communicabilité et la réutilisation de ce rapport sont régies selon la réglementation en vigueur et/ou les termes de la convention.

Le BRGM ne saurait être tenu comme responsable de la divulgation du contenu de ce rapport à un tiers qui ne soit pas de son fait et des éventuelles conséquences pouvant en résulter.

## Votre avis nous intéresse

Dans le cadre de notre démarche qualité et de l'amélioration continue de nos pratiques, nous souhaitons mesurer l'efficacité de réalisation de nos travaux.

Aussi, nous vous remercions de bien vouloir nous donner votre avis sur le présent rapport en complétant le formulaire accessible par cette adresse <https://forms.office.com/r/yMgFcU6Ctg> ou par ce code :



**Mots clés :** Géologie, structures, glissements de terrain, Aiguilles, Pas de l'Ours, Cohennoz.

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

**Lacquement Frederic** (2023) – Caractéristiques géologiques des sites d'études du Guil (commune d'Aiguilles) et de l'Arly (commune de Cohennoz), Alpes - projet Miroir. Rapport final. BRGM/RP-72686-FR, 86 p.

© BRGM, 2023, ce document ne peut être reproduit en totalité ou en partie sans l'autorisation expresse du BRGM.  
IM003-MT008-P2-22/09/2022

## Synthèse

Le projet Miroir vise à améliorer l'état des connaissances des instabilités de pentes qui affectent les Gorges de l'Arly et de la haute vallée du Guil, d'en tirer les conséquences sur la gestion en terme de risques, adaptée à ces masses instables et d'en porter à connaissance les résultats scientifiques. En effet, deux secteurs de ces vallées alpines présentent de nombreuses similitudes en termes de problématiques et de risques d'instabilités de versant. Elles sont le miroir l'une de l'autre entre les Alpes Françaises du Nord (Gorges de l'Arly en région Auvergne-Rhône-Alpes) et du Sud (haute vallée du Guil en région Sud Provence-Alpes-Côte-D'Azur).

Ce rapport vise à répondre aux objectifs d'amélioration de la connaissance des instabilités et plus particulièrement :

- A la structure des masses glissées ;
- A la géométrie des structures géologiques constituant le bâti des masses glissées ;
- A l'identification des facteurs géologiques de structures mais aussi de contexte de favorabilité en terme de glissements de terrain ;
- Aux conditions ayant conduit à la genèse des glissements de terrain.

Dans ce rapport chaque site est abordé indépendamment afin d'illustrer l'ensemble des caractéristiques géologiques des masses glissées, et d'aborder l'environnement des zones instables pour établir la géométrie des structures géologiques et le contexte à l'origine des instabilités. L'étude montre que les deux domaines diffèrent par les structures des masses glissées et leur cinématique. Que le contrôle des glissements est directement lié à la cinématique d'évolution de la vallée (retrait glaciaire pour le Guil et capture pour l'Arly) et que les structures qui affectent les versants sont intimement liés à la géométrie des structures géologiques qui constituent le substrat.

Ainsi, elles permettent d'en conclure que même si de nombreuses similitudes peuvent apparaître, les facteurs internes (géométrie et structures des roches) et externes (géométrie de la vallée et conditions de formation et d'évolution) divergent fortement et doivent être pris en compte pour établir les scénarii d'évolution du massif rocheux.

## Sommaire

1. Le Pas de l'ours.....	11
1.1. Objectifs de l'étude géologique.....	11
1.2. Contexte géographique.....	11
1.3. Contexte géologique.....	13
1.3.1. <i>Lithostratigraphie et lithologies</i> .....	13
1.3.2. <i>Structures tectoniques</i> .....	15
a) Les marqueurs de déformations profondes.....	15
b) Les marqueurs des déformations superficielles.....	17
c) Structures tectoniques en carte secteur d'Aiguilles.....	20
Torrent de Malrif.....	20
Aiguilles et torrent du Lombard.....	21
Carte des pentes et zone de failles.....	23
1.4. Formations géologiques du régoélite et éléments de géomorphologie.....	25
1.4.1. <i>Secteur de la Combe de Croze (Ouest d'Aiguilles) - dépôts de pente consolidés :</i> 25	
1.4.2. <i>Lieu-dit Bergerie de Chalvet des Borets – moraines / failles</i> .....	26
1.4.3. <i>Autres versants, substrat affleurant et dépôts de versants non consolidés</i> .....	27
1.4.4. <i>Dépôts alluvionnaires torrentiels et cônes de déjection</i> .....	29
1.4.5. <i>Versants sud du Guil, masses glissées</i> .....	31
1.5. Zone du glissement du Pas de l'Ours.....	34
1.5.1. <i>Caractéristiques du versant:</i> .....	34
1.5.2. <i>Sondage</i> .....	37
1.6. Discussions masses glissées et structures géologique.....	39
2. Val d'Arly.....	41
2.1. Objectifs de l'étude géologique.....	41
2.2. Contexte géographique.....	42
2.3. Contexte géologique.....	43
2.3.1. <i>Lithologies</i> .....	43
2.3.2. <i>L'altération</i> .....	45
2.3.3. <i>Structure géologique</i> .....	47
d) Géométrie et âge des structures.....	47
e) Structures alpine.....	49
f) Structures hercyniennes.....	53
2.4. Evolution de la géométrie de la vallée de l'Arly.....	62
2.5. Les glissements, caractérisation et lien avec le substrat.....	69
2.5.1. <i>Secteur de Bange</i> .....	70
2.5.2. <i>Secteur de La Morlandière</i> .....	72
2.5.3. <i>Secteur de Ronnaz</i> .....	74
2.5.4. <i>Caractéristiques des glissements en rive droite de l'Arly</i> .....	75
g) Typologie des structures dans le versant de Cohennoz.....	75
h) Caractéristiques des pentes de la zone fauchée.....	78
i) Coupe synthétique.....	79
2.6. Discussion masses glissées et structures géologiques.....	81
3. Conclusions.....	82
4. Bibliographie.....	84

## Liste des figures

Figure 1 - Extrait de la carte topographique IGN à 1/25000, secteur d'Aiguilles .....	12
Figure 2 - Vue Google Earth vers l'est de la vallée du Guil sur la commune d'Aiguilles.....	12
Figure 3 – en haut -Extrait des cartes géologique de Guillestre et d'Aiguilles (Tricart et al., 2001 et Debelmas et Lemoine, 1966) – même emprise que la carte en Figure 1 – en bas superposition de la carte harmonisée sur la carte géologique à 1/50 000, les zones hachurés verticales correspondent aux glissements de terrain .....	14
Figure 4 - Exemple de plis d'échelle pluri-centimétrique à décimétrique affectant des bancs silteux et carbonatés du Crétacé.....	15
Figure 5 - Exemple de plis isoclinaux d'échelle pluri-centimétrique affectés par une schistosité d'aplatissement dans les bancs silteux et carbonatés du Crétacé .....	15
Figure 6 - Représentation stéréographique en canevas Schmidt inférieur des plans de Schistosité (points noirs) détermination du pôle moyen 59-098 (zone rouge) .....	16
Figure 7 – Extrait de la carte de répartition des températures maximales atteintes par la nappe des Schistes lustrés. (Hervieux et al., 2022).....	17
Figure 8 – Extrait de la figure 5.4 - thèse de Schwartz (2003), représentant les linéaments tectoniques observés dans le Queyras. En couleur les différentes unités structurales alpines (jaune : nappe des flyschs, orange : zone briançonnaise, bleue : piémontais de marge, blanc : Schistes lustrés, jaune-gris : masses ophiolitiques et rouge Dora Mara). Le point rouge sur la carte localise Aiguilles.....	18
Figure 9 - Ensemble des failles mesurées dans le secteur d'Aiguilles, représentation en canevas Schmidt inférieur. La rosace au centre permet d'identifier les principales directions structurales, les arcs de cercle représentent chaque plan de faille.....	19
Figure 10 – Photographie de la falaise nord du torrent du Malrif, en haut photographie vierge, en bas la falaise est interprétée en terme structural, en rouge : replats, en bleu : escarpement, en blanc : les failles.....	20
Figure 11 – photographie de la partie supérieure du village d'Aiguilles depuis le sud. En haut : photographie vierge, en bas photographie habillée des replats et des principales zone d'escarpement .....	21
Figure 12 - Différentes vues de la partie haute du village d'Aiguilles depuis le sud-est, en haut : photo vierges, en bas : photographies habillées avec indications des différents replats. Numérotation des replats en lien avec la Figure 11 .....	22
Figure 13 - Carte des pentes du secteur d'Aiguilles (tirets blanc épais : failles de la carte géologique à 1/50000 ; zones hachurées : escarpements, les numéros de 1 à 6 aux replats identifiés sur le terrain (Figure 11 et Figure 12). En bleu : zone de glissement du pas de l'Ours. Traits blanc continus : localisation des coupes de la Figure 14. L'échelle de couleurs est affectée aux valeurs de pentes et permet de rendre compte des contrastes morphologiques.....	24
Figure 14 – Coupes N-S au niveau du Torrent du Lombard à gauche et au niveau du glissement du Pas de l'Ours, à droite avec la position des différents objets observés en surface ou sur la carte géologique. Sur la coupe de gauche, les localisations en rouge numérotent les différents replats identifiés dans le paysage (Figure 11, Figure 12 et Figure 13).....	24
Figure 15 – affleurement FL0106, lieu-dit le Rochas. La vallée est à droite de l'affleurement. ...	25
Figure 16 - Dépôt morainique à petits cailloutis noyés dans une matrice argileuse grise verdâtre abondante .....	26

Figure 17 - Dépôt morainique reposant sur un plan de faille – affleurement FLA0113.....	26
Figure 18 - Exemple d'affleurement de Schistes lustrés non recouverts par une formation du régolithe.....	27
Figure 19 - Exemple d'affleurement de Schistes lustrés recouverts par une fine couche de dépôt de versant avec argiles et plaquettes schisteuses.....	28
Figure 20 – Assemblage de blocs plurimétriques formant un chaos au front de la zone instable du Pas de l'Ours. Les blocs forment des lentilles aplaties selon les plans de schistosité.....	28
Figure 21 - Falaise bordant le torrent de la Peynen avec ses dépôts conglomératiques.....	29
Figure 22 - Niveaux sableux et conglomératiques à galets moyennement émoussés imbriqués dans le torrent de Peynen collés à une paroi de schistes lustrés .....	30
Figure 23 - Extrait de la carte des pentes avec focus sur le secteur d'Aiguilles et l'exutoire du torrent de Peynen et identification cartographique de l'aire des alluvions des fonds de vallée et des cônes de déjection au droit des vallons torrentiels du Lombard et de Peynen. ....	31
Figure 24 - Carte géologique harmonisée du secteur d'Aiguilles drapée sur le fond topographique à 1/25 000 .....	32
Figure 25 - Photographie de paysage habillé du versant sud du Guil avec habillage géomorphologique des masses glissées .....	32
Figure 26 – Photographie de l'affleurement de la chapelle du lieu-dit le Pigné et habillage avec mise en évidence des plans de fractures ouvertes reprenant les plans de schistosité et les failles de direction N070 .....	33
Figure 27 - Profil en long de la vallée de l'amont (à droite) vers l'aval (à gauche) dans le secteur d'Aiguilles, en bleu : pente amont et aval la zone de glissement, en rouge : pente dans la zone frontale du glissement du Pas de l'Ours.....	33
Figure 28 - Photo au niveau du Guil face au glissement du Pas de l'Ours, le front de la masse glissée du versant sud situé au pied du col de Lauzière forme une falaise d'une vingtaine de mètre de hauteur. Les roches sont instables et viennent alimenter le lit de la rivière Guil.....	34
Figure 29 - Versant du glissement du Pas de l'Ours.....	35
Figure 30 - base du glissement du pas de l'Ours secteur oriental .....	35
Figure 31 - Chaussée déformée par le glissement de terrain - zone centrale .....	36
Figure 32 – Chaussée déformée à l'entrée du village avec un enrobé fracturé et une route présentant un léger devers vers le vallon.....	37
Figure 33 – Forage du Pas de l'Ours réalisé à l'été 2022 avec exemple de carotte prélevée ...	38
Figure 34 - Coupe interprétative du secteur du Pas de L'Ours .....	39
Figure 35 - Schéma de principe sur les relations entre la schistosité et les failles affectant les Schistes lustrés et les versants nord et sud de la vallée du Guil. La coupe N-S correspond à la coupe en pointillé sur la carte.....	40
Figure 36 - Extrait de la coupe géologique de la carte géologique à 1/50 000 de saint -Gervais .....	41
Figure 37 - Vue aérienne depuis le sud sur la zone d'étude (GoogleEarth) .....	42
Figure 38 - Exemple de grès permo-triasique contenant des quartz roses.....	44
Figure 39 - Comparaison entre deux affleurements de micaschistes, la première photographie (à gauche) présente des couleurs grise à noires caractéristique des roches saines, la seconde	

photographie (à droite) montre un affleurement de micaschistes avec une teinte lie de vin à rougeâtre situé juste sous la discordance avec les dépôts de grès du Permien .....	46
Figure 40 - Conglomérat du Carbonifère reposant juste au-dessus des micaschistes, on y trouve des galets de micaschistes gris dans une matrice schisteuse grisâtre .....	47
Figure 41 - Extrait des cartes géologiques à 1/50 000 publiées de Saint-Gervais et de Annecy-Ugine centrées sur la zone d'étude. La base des terrains du Carbonifère est surlignée avec un trait noir, La base de la série permo-triasique est surlignée avec un trait rouge. En tiret bleu est surligné le niveau de décollement principal interstratifié entre le Trias et le Lias. Les valeurs de pendage sont données à titre indicatif. Une surcharge hachurée bistre correspond aux trajectoires de schistosité affectant les micaschistes représentés en jaune orangée .....	48
Figure 42 - Représentation stéréographique en Schmidt inférieur des plans de stratification mesurés dans les niveaux du Trias et du Permien de la zone d'étude .....	49
Figure 43 - Affleurement de grès Permien contenant des graviers de quartz roses et affecté par des diaclases verticales conjuguées de direction , secteur situé sur la rive gauche de l'Arly, dans la montée depuis Flumet vers Notre-Dame de Bellecombe .....	50
Figure 44 – série grésopélique du Carbonifère affectée par des diaclases perpendiculaires aux plans de stratification et parallèles à la direction de la vallée de l'Arly .....	50
Figure 45 - Blocs diagrammes 3D représentant l'enveloppe de la discordance du Permo-Trias reportée sur la carte géologique en 3 dimensions. En haut vue depuis le sud-ouest, en bas, vue depuis le nord-est .....	52
Figure 46 - Plis synschisteux isoclinaux affectant les micaschistes .....	53
Figure 47 - Représentation stéréographique des plans de schistosité en Schmidt inférieur .....	54
Figure 48 - Pli synforme post schisteux de plan axial vertical et d'axe horizontal dans les micaschistes .....	54
Figure 49 - Représentation stéréographique des mesures de schistosité plissée repérées au niveau des affleurements FLA0002 ( <b>en bleu</b> ), FLA0003 ( <b>en rouge</b> ) et FLA0058 ( <b>en vert</b> ). Les axes de plis calculés sont inclinés vers le sud et le sud-ouest (carrés avec les indices 3).....	55
Figure 50 – Bloc 3D réalisé dans GeoModeller©. La carte géologique est représentée en 3 dimensions sur laquelle sont reportées les données ponctuelles sous la forme de petit disques permettant d'illustrer la direction du plan et son pendage .....	56
Figure 51 – Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© représentant les trajectoires de schistosité vu depuis le sud-Ouest, représentation sans fond en haut et avec la carte géologique en bas .....	58
Figure 52 - Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© intégrant la surface érosive de la base du Permo-Trias et du Carbonifère et les trajectoires de schistosité dans les micaschistes, vue depuis le sud-est en vue de 4 (bloc du haut) vue depuis le sud-est à l'horizontale avec un fond topographique MNT .....	59
Figure 53 - Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© intégrant la surface érosive de la base du Permo-Trias et du Carbonifère et les trajectoires de schistosité dans les micaschistes tronquées reportés sur la carte géologique (bloc du haut) et sur un MNT colorisé (boc du bas).....	60
Figure 54 - Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© intégrant la surface érosive de la base du Permo-Trias et du Carbonifère et les trajectoires de schistosité dans les micaschistes tronquées reportés sur le MNT vue depuis le nord-est en haut et du sud-ouest en bas .....	61
Figure 55 – Comparaison entre les profils longitudinaux des vallées de l'Arly en amont d'Ugine et de l'Isère et de l'Arc avec indication de la pente moyenne en pourcentage .....	62

Figure 56 – Position et coupes topographiques le long de la vallée de l'Arly depuis Megève à Ugine et habillage d'une géométrie anté-creusement probable de la vallée en pointillées rouge .....	63
Figure 57 - Vue depuis les hauteurs de Flumet vers le nord de la vallée de l'Arly.....	64
Figure 58 – Vue depuis les hauteurs de Cohennoz vers le nord de la vallée de l'Arly .....	64
Figure 59 - Vue de la vallée de l'Arly vers le Sud depuis le fond de vallée au pied du versant des Panissats.....	65
Figure 60 – Vallée de l'Arly au sud d'Ugine, d'après Google Earth .....	65
Figure 61 – Profil en long de la vallée de l'Arly depuis Praz-sur-Arly à Ugine et localisation des principaux branchements de vallées secondaires et identification de la nature des terrains traversés, localisation de la zone de glissements de Cohennoz. La ligne en tirets rouges correspond au profil lissé du fond de la vallée, la ligne en tirets verts à la pente théorique si on avait une vallée glaciaire « normale ». Sous la surface topographique sont indiqués les différents faciès de roches sur lesquels s'écoule la rivière Arly .....	66
Figure 62 - Géométrie de la vallée glaciaire avant érosion post-glaciaire et capture de la capture de la rivière Arly.....	67
Figure 63 - Secteur de Ugine au débouché de la vallée encaissée de l'Arly et la zone où la Chaise rejoint l'Arly. A photo actuelle, B : reconstitution avant la capture de l'Arly, C : capture de l'Arly avec formation d'une vallée glaciaire perchée, D : incision de la vallée glaciaire de l'Arly et position actuelle .....	68
Figure 64 - Localisation des secteurs analysés pour caractériser les glissements de terrain. Localisation des points d'affleurement de la Figure 76 en rouge le point d'observation au pied de la crête « au saut du Chamois », en noir le point au niveau du lieu-dit « la grangette » .....	69
Figure 65 – Secteur de Bange, à gauche une vue aérienne, à droite un extrait de la carte topographique IGN à 1/25 000 .....	70
Figure 66 – A gauche, carte géologique au 1/50 000 drapée sur le fond topographique du secteur de Bange. A droite la carte géologique à plat avec description des polygones du secteur de Bange .....	70
Figure 67 – Carte des pentes drapée sur la topographie, habillée des cicatrices d'arrachement, en jaune le haut des escarpements, en rouge le contour de la zone glissée. L'échelle des couleurs utilisée pour les pentes est la même que celle employé pour le Guil, à droite avec la position de la base du Trias (en bleu) intercepte la surface topographique juste au niveau de la loupe de glissement .....	71
Figure 68 – Localisation de la zone de glissement sur la carte des pentes et comparaison avec la carte géologique .....	71
Figure 69 – Carte topographique du secteur la Morlandière à gauche et à droite, un extrait de la carte géologique. Point jaune : localisation de l'affleurement Figure 74 .....	72
Figure 70 – A gauche carte des pentes et limites des limites des principaux escarpements pour les glissements, à droite l'extrait de la carte géologique à 1/50 000 avec les limites cartographiques des masses glissées. ....	72
Figure 71 - Vue depuis le sud du glissement de la Morlandière .....	73
Figure 72 - Affleurement le long de la route départementale 109 au niveau de la bordure sur de la zone du glissement de la Morlandière, localisation en Figure 69.....	73
Figure 73 - Détail de la carte de pente de la zone du Ronnaz, en rouge ; sommet de l'escarpement principal, en bleu : base de l'escarpement principal, en vert : sommet de l'escarpement actif	

actuel, en jaune : bordure de la masse glissée du lieu-dit le Diat, en marron : escarpement au sud du Moulin Ravier, à gauche un extrait de la carte géologique avec les éboulis (E) et le dépôt d'écroulement (zone de surcharge avec triangle tournés vers la vallée) remaniant les micaschistes .....	74
Figure 74 - Vue en 3D de la zone de Ronnaz, Google Earth. Les couleurs sont les mêmes que sur la Figure 73 .....	75
Figure 75 - Exemple d'affleurements de micaschistes non affectés par les mouvements de versants, à gauche : affleurement situé le long de la route située au pied de la crête « au saut du Chamois » et à droite l'affleurement de micaschistes situé sous la discordance à l'ouest au niveau du lieu-dit « la grangette », localisation voir Figure 65.....	76
Figure 76 – Exemple d'affleurement observés dans le versant oriental du val d'Arly montrant la base d'une zone de fauchage. La série basculée présente un pendage plus faible que la série sous-jacente avec une direction de pendage à l'opposé de celle de la pente. Présence d'une fracture sans déplacement limitant la base de la zone fauchée. Une partie des photographies sont inversées pour être toutes avec la base du versant à gauche .....	76
Figure 77 - Exemples d'affleurements de roches déstabilisés s'observant dans le versant oriental du val d'Arly. Les inclinaisons de la schistosité sont basculées à fortement basculées pour finir par se paralléliser avec la pente. On notera la présence de failles permettant aux roches de constituer des radeaux subparallèles à la pente du versant. Une partie des photographies sont inversées pour être toutes avec la base du versant à gauche. La dernière photo correspond à un talus routier avec fauchage des micaschistes pouvant ressembler à ce qui se passe à l'échelle kilométrique.....	77
Figure 78 - Schéma de principe d'un fauchage .....	78
Figure 79 – Ensemble de coupes topographiques du secteur de Cohennoz, la couleur permet de localiser le profil au niveau de la carte de droite .....	78
Figure 80 – Carte géologique avec les position des coupes topographiques dans le secteur de Nant de Boulou avec indication des éléments structuraux identifiés sur le terrain dans la zone déstabilisée ainsi que report de la géométrie du substrat issue de la modélisation 3D sous GeoModeller©.....	80
Figure 81 – Affleurement de micaschistes situé dans la partie supérieure de la zone de glissement présentant une schistosité faiblement inclinée au niveau de la zone de charnière antiforme et affectée par des failles normales conjugués subverticales .....	80
Figure 82 – coupe synthétique schématique de la masse en mouvement passant par le secteur du Boulou et de la géométrie du substrat défini grâce à la modélisation 3D .....	81

## 1. Le Pas de l'ours

D'après la carte géologique (Tricard et al., 2003), le substratum observé sur le site d'étude est composé de schistes lustrés, datant du Crétacé inférieur. Ces schistes lustrés présentent un pendage homogène incliné vers l'ouest et sont affectés par des failles tardives d'orientation ENE-WSW et NNW-SSE. La morphologie du versant et les différentes observations de terrain permettent de déterminer la présence d'un ancien glissement de versant postglaciaire entre le pied de versant et la niche d'arrachement sommitale. Cet ancien glissement est délimité sur les plans proposés au sein du rapport SAGE de septembre 2017 (RP6626\_GLI\_2017\_ind01). Le glissement semble être facilité et guidé par les failles tardives qui compartimentent les volumes rocheux et contrôlent la géométrie des masses glissées. Dans ce chapitre sur la géologie, on se propose de faire le point sur un ensemble d'observations directes et indirectes permettant de mieux comprendre les paramètres géologiques contrôlant la genèse du glissement.

### 1.1. Objectifs de l'étude géologique

Les géométries des structures et l'histoire géologique du secteur sont déjà bien établies grâce aux nombreuses publications produites (Tricard et al., 2003, Schwartz S., 2003, Fort et Tricard 2019, Schwartz et al., 2009). Pour compléter les données existantes et afin de mieux appréhender les caractéristiques géométriques des structures du substratum, des observations de terrains ont été effectuées. Ces observations apportent des précisions concernant :

- Les valeurs de pendage de la schistosité et leur variabilité ;
- La présence de failles et leur géométrie ;
- La présence de dépôts associés aux processus de surface et leurs différentes caractéristiques ;
- La caractérisation des versants environnants et leur nature.

Lors de ces observations de terrain, plusieurs dizaines de photos ont été prises du site du pas de l'ours et des alentours. Parmi celles-ci, les photos de panorama permettent de mieux cerner la dimension du site, d'identifier dans le paysage les morphologies particulières des versant et de caractériser les structures géologiques. Une quarantaine de points d'observations a été collectée permettant de préciser les structures de détail, d'identifier les lithologies et ainsi de caractériser le bâti géologique susceptible d'exister avant la mise en place du glissement du Pas de l'Ours ainsi que de caractériser les déformations associées au mouvements de versants.

### 1.2. Contexte géographique

La caractérisation de la structure géologique passe par une analyse du substrat non affecté par les déformations de versants et accessible dans les alentours d'Aiguilles. Pour cela, il est nécessaire d'investiguer une zone suffisamment grande pour apporter le maximum d'indices permettant d'apporter les informations pertinentes sur la compréhension des phénomènes gravitaires qui affectent les versants. C'est pourquoi des investigations ont été réalisées le long de la vallée principale du Guil depuis le vallon du torrent du Malrif (bergerie des Salins) à celui du torrent du Chalvet pour le versant au nord du Guil et au niveau de l'exutoire du vallon du torrent du Peynen pour le versant sud (Figure 1).

Le secteur est marqué par une large vallée linéaire orientée N050-060, bordée au nord et au sud par des reliefs importants. Au niveau du glissement du Pas de l'Ours, l'altitude est de 1468 mètres. Les sommets

des reliefs se situent vers 2500 mètres. Ces reliefs sont découpés par des vallées transverses orientées N130 au sud et N150 au nord de la vallée du Guil. Le fond de la vallée est plat, la largeur de la vallée varie fortement de quelques mètres comme au niveau du pas de l'ours à plus de 350 mètres en aval d'Aiguilles (Figure 2).

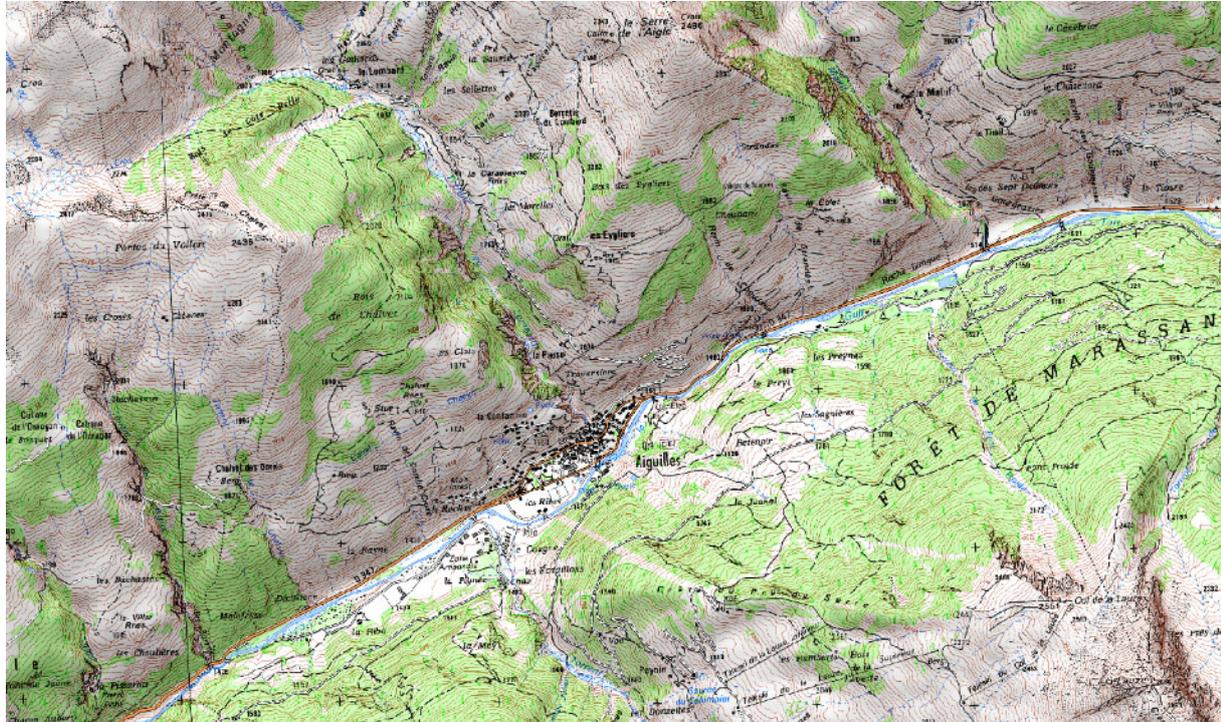


Figure 1 - Extrait de la carte topographique IGN à 1/25000, secteur d'Aiguilles



Figure 2 - Vue Google Earth vers l'est de la vallée du Guil sur la commune d'Aiguilles

### 1.3. Contexte géologique

#### 1.3.1. Lithostratigraphie et lithologies

D'un point de vue lithologique, les terrains formant le substrat de la zone d'étude correspondent à des roches sédimentaires silto-carbonatées fortement déformées en contexte compressif associé à la structuration alpine. A l'échelle de la zone, des variations de proportions entre les carbonates et la composante détritique ont permis aux auteurs de la carte géologique de proposer des distinctions cartographiques (Tricart et al., 2003 et Debemas et Lemoine 1966). Les unités lithostratigraphiques du substrat ainsi définies sur les cartes géologiques correspondent à :

- **n-cS** : Zone piémontaise. Complexe des Schistes lustrés piémontais. Unités océaniques. Calcschistes indifférenciés (localement détritisme ophiolitique, prasinites), Crétacé inférieur-moyen à supérieur ;
- **n-c** : Zone piémontaise. Complexe des Schistes lustrés piémontais. Unités océaniques. Alternances schisto-calcaires, Crétacé inférieur ?
- **cS** : Zone piémontaise. Complexe des Schistes lustrés piémontais. Unités océaniques. Schistes noirs non calcaires : "black shales", médio-crétacés ?

Les formations superficielles qui recouvrent les terrains du substrat correspondent à :

- **GLb** : Glissements de terrain, coulées boueuses, écoulement général désorganisé, loupes de glissement récentes et cônes de solifluxion (NB : des glissements sont également représentés sur la carte en tant que formations) ;
- **ESG** : Versants +/- glissés de "Schistes lustrés" mélangés à des éboulis de Schistes lustrés et à des moraines. Âge variable ;
- **E-G** : Eboulis, glissements et moraines mêlés, indifférenciés. Âge variable ;
- **Fz** : Alluvions fluviales (localement torrentielles) actuelles et récentes indifférenciées. Holocène ;
- **Fy-z** : Alluvions fluviales ou torrentielles +/- anciennes, stabilisées, pour partie post-glaciaires. Würm indifférencié à post-Würm. Pléistocène supérieur-Holocène.

En carte, les glissements de terrain (**GLB**) et les versants plus ou moins glissés (**ESG**) ne sont pas caractérisés par un caisson particulier. Ils reprennent la couleur de la roche d'origine et sont juste délimités par un trait fin continu et caractérisés par des flèches indiquant le sens de déplacement. Au nord du Guil, seule la zone du « Pas de l'Ours » est identifiée. Au sud du Guil, Plusieurs grande zones de masses déstabilisées sont cartographiées ; elles sont bien visibles sur la carte harmonisée car mise en évidence par des zones hachurées (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

Les observations réalisées au cours de cette étude n'ont pas permis de préciser les tracés cartographiques des différentes unités du substrat, reportées sur les documents publiés. Elles ne seront pas discutées ici. En revanche, les formations superficielles issues de la dynamique d'érosion et de transport récent a actuel ont fait l'objet d'une attention particulière sans toutefois faire l'objet d'une révision cartographique.

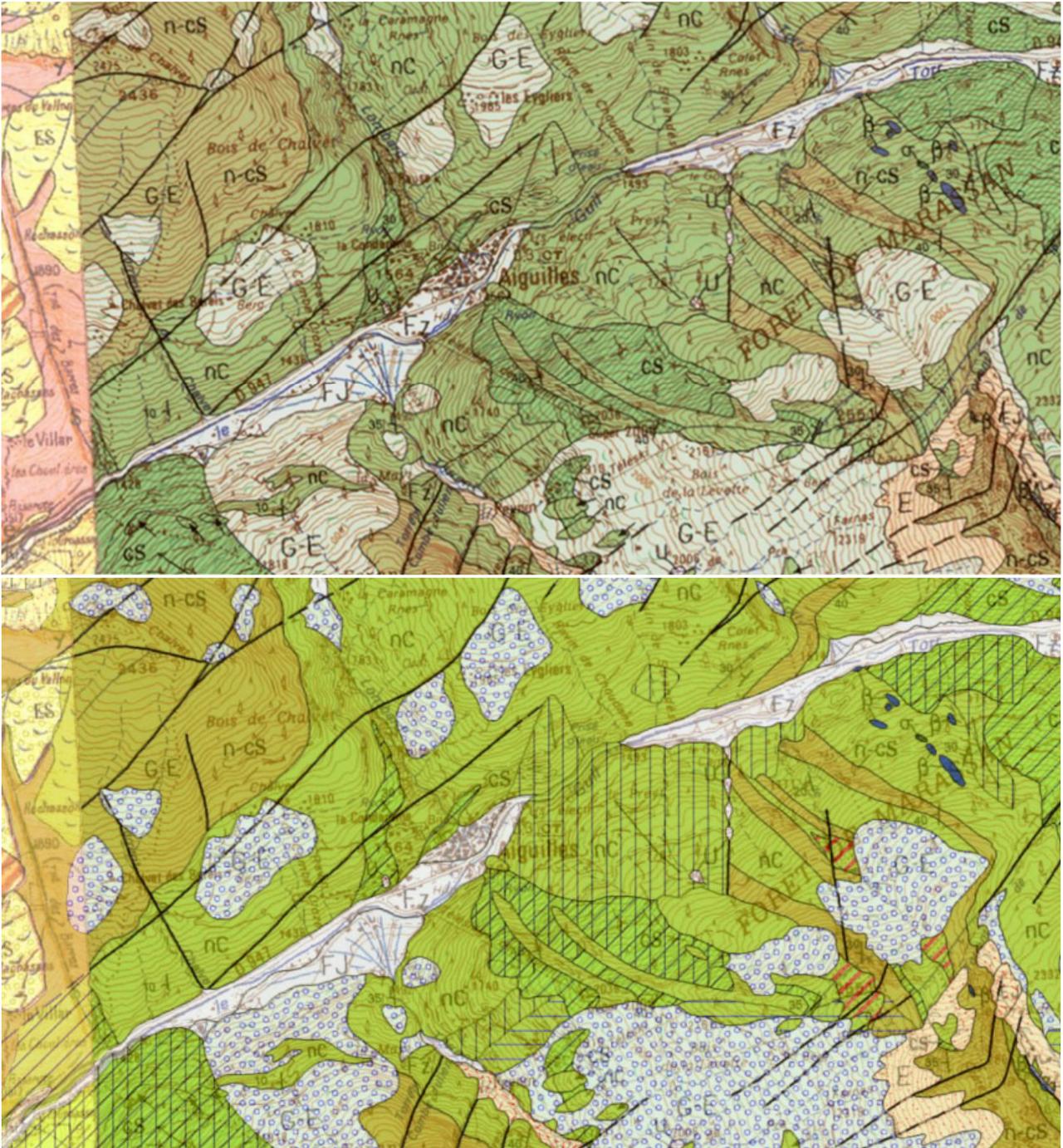


Figure 3 – en haut -Extrait des cartes géologique de Guillestre et d'Aiguilles (Tricart et al., 2001 et Debelmas et Lemoine, 1966) – même emprise que la carte en Figure 1 – en bas superposition de la carte harmonisée sur la carte géologique à 1/50 000, les zones hachurés verticales correspondent aux glissements de terrain

### 1.3.2. Structures tectoniques

#### a) Les marqueurs de déformations profondes

Le substrat est affecté par des très nombreux plis d'échelle centimétrique à pluri-métriques voir de plus grande taille (Figure 4) accompagnés par une schistosité pénétrative à l'origine d'un débit planaire anisotrope (Figure 5). Au sein de la zone d'étude, les séries du Crétacé sup. sont situés structurellement au-dessus des séries du Crétacé inférieur et moyen, c'est-à-dire en position normale. Le secteur du Pas de l'Ours est situé dans le Complexe des Schistes lustrés piémontais avec les alternances schisto-calcaires.



Figure 4 - Exemple de plis d'échelle pluri-centimétrique à décimétrique affectant des bancs silteux et carbonatés du Crétacé



Figure 5 - Exemple de plis isoclinaux d'échelle pluri-centimétrique affectés par une schistosité d'aplatissement dans les bancs silteux et carbonatés du Crétacé

Le pôle moyen de la schistosité pour le secteur est déterminé par stéréogramme (Figure 6). Sa détermination est basée sur 85 mesures de schistosité réparties de manière homogène sur la zone d'étude, le pôle moyen plonge de 59 degré dans l'azimut 098, ce qui correspond à un plan incliné de 31 degré vers l'ouest (azimut 278). La dispersion des plans de schistosité est relativement faible, plus des trois-quarts des mesures étant dans un environnement proche du pôle moyen. Quelques valeurs s'écartent par rapport à la moyenne, notamment dans le quadrant en bas à droite. Elles sont certainement dues à i) la variabilité à grande échelle des trajectoires de schistosité et ii) des mesures prises dans des ensembles basculés associés à des glissements de terrain.

De l'analyse des plans de schistosité, on retiendra donc i) une inclinaison moyenne de 31° vers l'ouest (azimut 278) et ii) une schistosité pénétrative à l'origine d'une anisotropie forte de la roche.

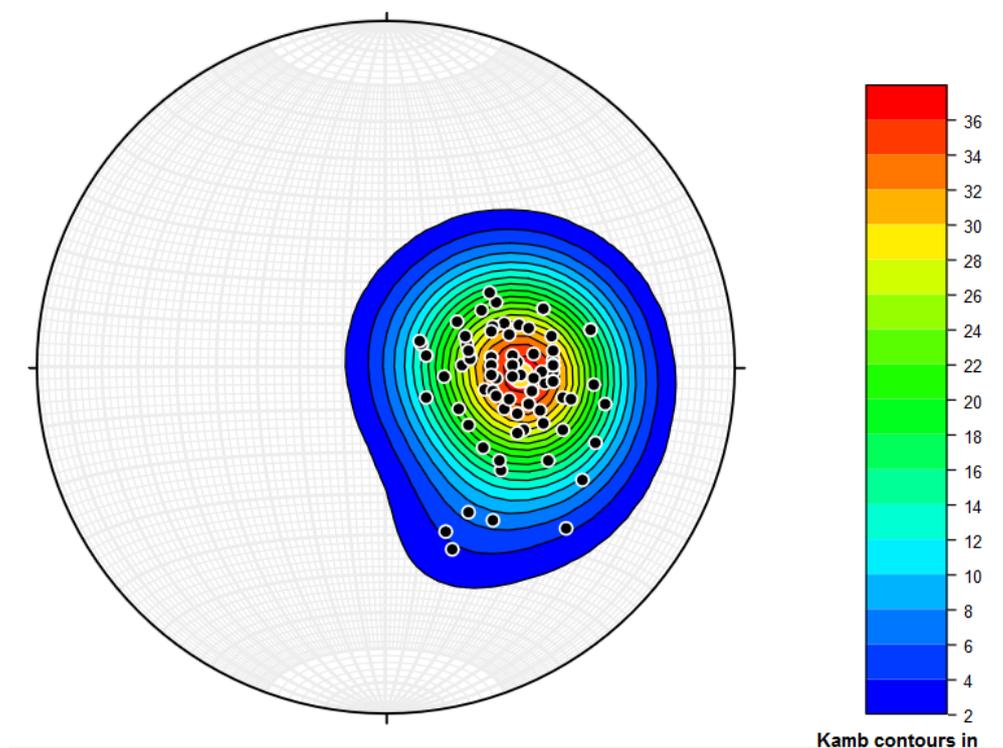


Figure 6 - Représentation stéréographique en canevas Schmidt inférieur des plans de Schistosité (points noirs) détermination du pôle moyen 59-098 (zone rouge)

A ces déformations est associé un accroissement de la température subies par les roches engendrant des transformations minérales. Une étude récente a permis de cartographier les maximums de températures atteintes selon les différents secteurs (Hervieux, 2022). Cette étude permet notamment de mettre en évidence une décroissance des températures maximales atteintes de l'est vers l'ouest. Avec un maxima au niveau de la frontière avec l'Italie et du massif de Dora Maira où les températures atteintes sont juste en dessous de 600 degrés Celsius (Figure 7). Tout à l'Ouest les températures décroissent progressivement pour atteindre 300 degrés Celsius. A Aiguilles, les températures atteintes avoisinent les 450 degrés.

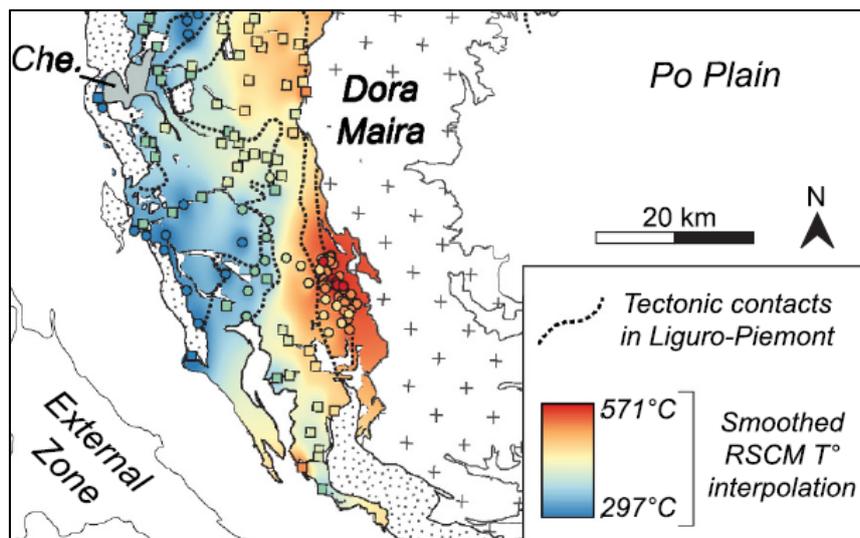


Figure 7 – Extrait de la carte de répartition des températures maximales atteintes par la nappe des Schistes lustrés. (Hervieux et al., 2022)

#### b) Les marqueurs des déformations superficielles

Après la mise en place des nappes, des structures tectoniques tardives cassantes se sont mises en place. Elles recoupent les plis et la schistosité et se marquent en carte par des accidents subverticaux d'orientation NNE-SSW, bien visibles en carte sur le versant nord du Guil (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Cette structuration est associée au soulèvement des Alpes et aux mouvements récents depuis le Miocène à l'actuel (Lazarre et al, 1994 ; Tricart et al. 2001). Les microstructures tardives affectant les séries du Flysch ont été étudiées par Schwartz et al. (2009). Une analyse approfondie des microstructures témoigne du changement de régime entre les déformations précoces réalisées à grande profondeur et celles cassantes, formées à faible profondeur. En 2003, Schwartz décrit les directions des structures faillées tardives subverticales dans le Queyras, elles appartiennent à trois familles de failles orientées respectivement :

- N040 à N060, ces failles forment des faisceaux en général recoupés par les autres familles de failles ;
- N130 à 160, moins nombreuses, elles appartiennent au faisceau de faille de la Haute Durance et correspondent à une déformation cassante tardi-alpine se poursuivant dans les périodes récentes ;
- N040 à N090 transverses à l'arc alpin.

Les deux dernières familles sont co-génétiques ; elles ont joué en failles normales puis avec une composante décrochante, dextre pour les failles N130/160 et senestre pour la seconde famille. En Figure 8, les linéaments structuraux du site d'Aiguilles sont reportés sur la carte de Schwartz (2003). Ces structures sont caractérisées à l'échelle du massif alpin.

L'étude la plus précise de la zone d'intérêt correspond à la carte géologique de Tricart et al., 2002 (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Il n'y a pas eu d'autres travaux plus détaillés permettant de rendre compte des structures tectoniques dans ce secteur. On y retrouve les différentes familles de failles caractérisée à une échelle plus globale. Les pentes du versant nord du Guil sont affectées principalement par des failles NNE-SSW et NNW-SSSE. Au sud du Guil, il n'y a quasiment pas de failles cartographiées en dehors des zones à fortes pentes situées à l'ouest des petits affluents.

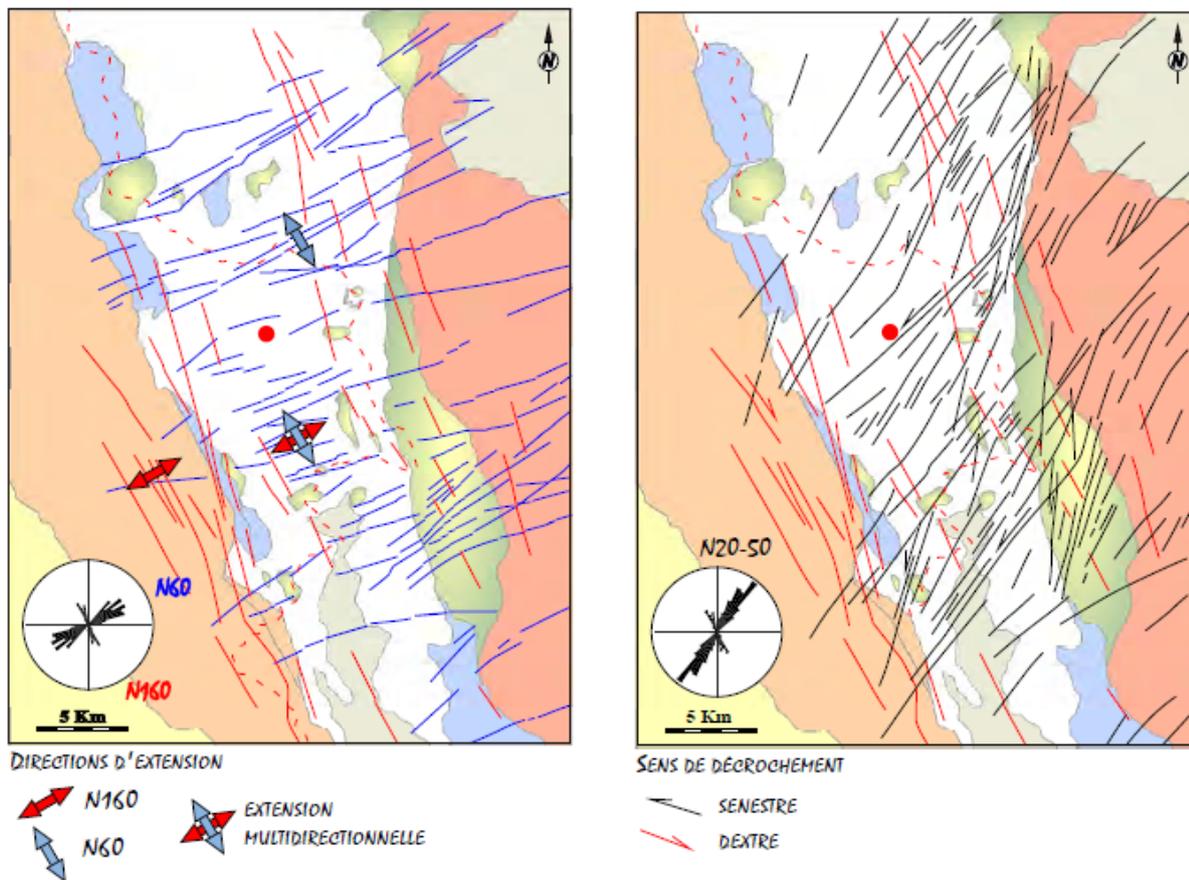
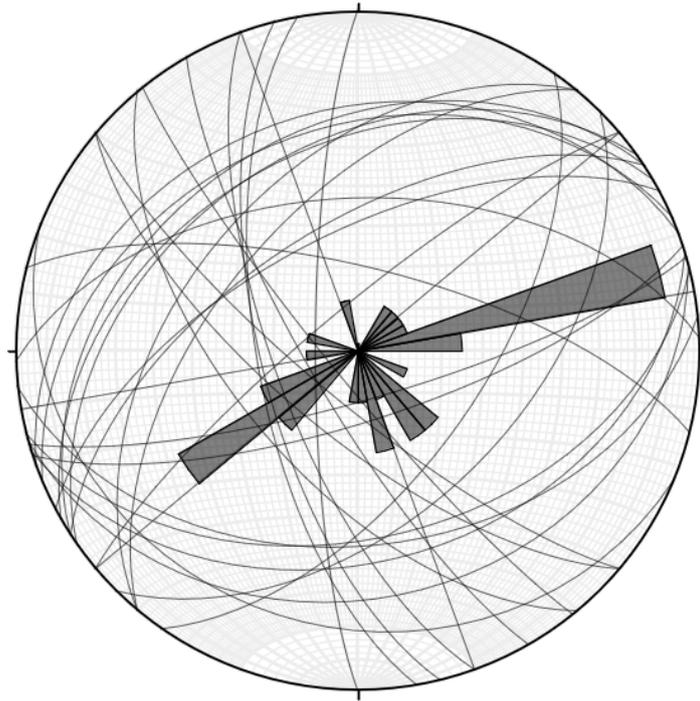


Figure 8 – Extrait de la figure 5.4 - thèse de Schwartz (2003), représentant les linéaments tectoniques observés dans le Queyras. En couleur les différentes unités structurales alpines (jaune : nappe des flyschs, orange : zone Briançonnaise, bleue : piémontais de marge, blanc : Schistes lustrés, jaune-gris : masses ophiolitiques et rouge Dora Mara). Le point rouge sur la carte localise Aiguilles

Lors de la campagne d'acquisition de données complémentaires, de nombreuses failles ont pu être observées et mesurées. Une représentation stéréographique des trente-trois plans de failles est proposée en Figure 9. Sur le stéréogramme, on retrouve les directions principales observées en carte et dans les études structurales cités précédemment. Ces mesures sont donc cohérentes avec celles qui s'observent au-delà de la zone d'Aiguilles. Trois directions de failles prédominent : (i) celles orientées N080 plutôt à pendage sud ; (ii) celles orientées N050 inclinées vers le nord ; (iii) les failles NNW-SSE sont les plus inclinées avec des valeurs supérieures à 60° et sont majoritairement inclinées vers l'ouest. Les failles NNE-SSW observées sont généralement des petits accidents avec de faibles déplacements. Les failles NE-SW présentent des déplacements plus importants avec la présence de stries de calcites avec parfois avec plusieurs générations. Systématiquement les stries indiquent des déplacements normaux.



*Figure 9 - Ensemble des failles mesurées dans le secteur d'Aiguilles, représentation en canevas Schmidt inférieur. La rosace au centre permet d'identifier les principales directions structurales, les arcs de cercle représentent chaque plan de faille.*

L'aspect cinématique n'a pas été abordé dans notre étude. Il est à retenir que le Queyras est affecté par une déformation cassante récente à actuelle caractérisée par 3 familles de failles. Que ces failles sont généralement fortement pentées et résultent de déformations correspondant à des décrochements et des extensions. Dans le secteur d'Aiguilles, le versant nord de la vallée du Guil est plus particulièrement affecté par des failles ENE-WSW.

### c) Structures tectoniques en carte secteur d'Aiguilles

Torrent de Malrif

Dans la partie inférieure du torrent, une grande falaise permet d'accéder à une observation quasi continue des Schistes lustrés selon une direction nord-sud. La falaise est découpée par un grand nombre de failles dont il est impossible de définir le sens de déplacement par manque de repères au sein des séries des Schistes lustrés (Figure 10). La direction de la falaise est globalement nord sud, par conséquent les failles qui s'y observent ont toutes des directions obliques à perpendiculaires. L'accessibilité de la falaise n'as pas permis au cours de la mission de réaliser des observations et mesures directes de ces failles. Elles présentent des pendages apparents vers le sud ou le nord de 30-70°. Les failles les plus importantes semblent être celles inclinées vers de le sud de 45°. Quelques plans présentent un pendage apparent faible (moins de 20°). Ils doivent certainement correspondre à l'intersection entre la falaise et la schistosité. Au sommet de la falaise, l'intersection avec la surface topographique met en évidence des replats alternant avec des zones pentées. Au niveau de ces replats, la végétation est développée et ils forment des petits plateaux étagés (en rouge) séparés par des escarpements (en bleu). Les escarpements sont parallèles aux principales failles observées dans la falaise et doivent donc correspondre au prolongement de ces failles.



Figure 10 – Photographie de la falaise nord du torrent du Malrif, en haut photographie vierge, en bas la falaise est interprétée en terme structural, en rouge : replats, en bleu : escarpement, en blanc : les failles

### Aiguilles et torrent du Lombard

Au niveau du village d'Aiguilles, là où le torrent du Lombard arrive au niveau de la vallée du Guil, il est possible de faire le même type d'observations que dans la vallée du Malrif (voir paragraphe précédent). En effet, on y retrouve des replats topographiques étagés (Figure 11). Plusieurs vues de la zone permettent de visualiser les différents replats, les escarpements et leurs continuités. Les escarpements se prolongent en profondeur par des discontinuités tectoniques, en effet sur la Figure 12, photographie de droite, on peut voir que l'escarpement entre les replats 3/4 et 5 se prolonge en profondeur et correspond à une faille inclinée vers la vallée d'environ 45°. Sur la Figure 11, l'escarpement entre les replats 2 et 3 se prolonge vers le sud-ouest pour atteindre la vallée. Les escarpements décalent la surface topographique du versant mais n'affectent pas les alluvions du Guil, les déplacements sont donc antérieurs au comblement de la vallée.



Figure 11 – photographie de la partie supérieure du village d'Aiguilles depuis le sud. En haut : photographie vierge, en bas photographie habillée des replats et des principales zone d'escarpement



Figure 12 - Différentes vues de la partie haute du village d'Aiguilles depuis le sud-est, en haut : photo vierges, en bas : photographies habillées avec indications des différents replats. Numérotation des replats en lien avec la Figure 11

#### Carte des pentes et zone de failles

Les différents replats et les escarpements observés sur le terrain (voir les deux paragraphes précédents) sont identifiables en carte. Pour les représenter plus facilement, une carte des pentes est utilisée. Dans le traitement proposé, à partir d'un MNT au pas de 5 m, il est choisi de faire figurer en rouge les pentes inférieures à 3°, en bleu les pentes entre 3 et 10°. Au-dessus de 10° on applique les couleurs rose à beige jusqu'à 30° puis bleu à vertes jusqu'à 50° puis grise à noires au-delà. La carte résultante, en Figure 13, permet d'identifier cartographiquement les domaines dont les pentes sont identiques et de cartographier les morphologies cohérentes.

Sur cette carte, dans le secteur d'Aiguilles et au nord du Guil :

- Les zones de replats correspondent aux couleurs les plus chaudes (violacé, rougeâtre). En dehors des fonds de vallées, s'observent plusieurs replats présents dans les pentes. Sur le versant sud du Lombard et juste au-dessus du village d'Aiguilles on retrouve les différents replats, notés de 1 à 6 identifiés sur le terrain (Figure 11 et Figure 12) ;
- Les escarpements apparaissent également mais cette fois-ci dans les teintes bleutées à vertes. Les escarpements sont quasiment tous de direction ENE-WSW. Ils délimitent des compartiments formant des fuseaux de faible largeur

Sur cette carte, les failles de la carte géologique à 1/50 000, au nombre de deux sur le secteur, ont été reportées en pointillés blancs. Elles présentent les mêmes directions que les bandes définies par les escarpements. Les escarpements sont tous situés le long de la faille sud. Au nord de la faille, les escarpements sont de petites dimensions et peu nombreux alors qu'au sud les déplacements semblent avoir été plus importants et leur nombre est plus important. Ces escarpements correspondent à des failles non indiquées sur la carte géologique à 1/50 000 (Tricart et al, 2002) certainement du fait de la taille des objets et des difficultés de représentation à cette échelle. Il est possible que le tracé de la faille sur la carte géologique à 1/50 000 corresponde au tracé simplifié d'un couloir de déformation formant une zone de dommages résumé à un seul plan. La faille de la carte géologique est continue et rectiligne ce qui indique que cette faille est verticale. Or, les failles associées aux escarpements sont pentées vers le sud d'une cinquantaine de degrés (Figure 12).

Le glissement du Pas de l'Ours borde la lèvre sud de la faille notée sur la carte géologique. La faille s'arrête juste au sommet de la zone de glissement. La relation entre le glissement et la présence de cette faille et/ou de la zone de dommage n'est pas établie. Toutefois, la concordance de l'ensemble de ces éléments laisse à penser qu'il y aurait un lien.

Deux coupes nord-sud reprenant l'ensemble des éléments cartographiques sont localisées en Figure 13 et sont dessinées en Figure 14. Les failles observées décalant les surfaces faiblement pentées situées au-dessus du village d'Aiguilles sont représentées avec un pendage d'une cinquantaine de degrés vers le sud alors que la faille dessinée sur la carte géologique est verticale. Sur la coupe passant par le glissement du Pas de l'Ours sont reportées les masses glissées.

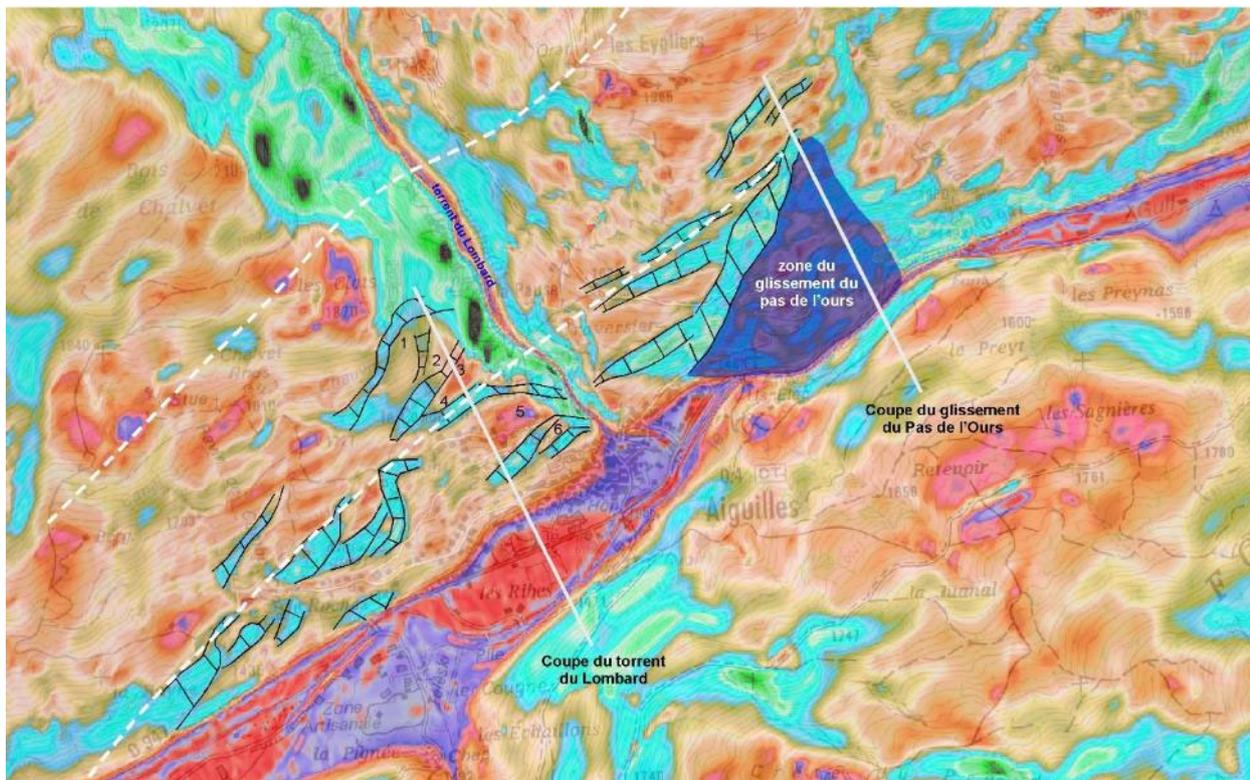


Figure 13 - Carte des pentes du secteur d'Aiguilles (tirets blanc épais : failles de la carte géologique à 1/50000 ; zones hachurées : escarpements, les numéros de 1 à 6 aux replats identifiés sur le terrain (Figure 11 et Figure 12). En bleu : zone de glissement du pas de l'Ours. Traits blanc continus : localisation des coupes de la Figure 14. L'échelle de couleurs est affectée aux valeurs de pentes et permet de rendre compte des contrastes morphologiques

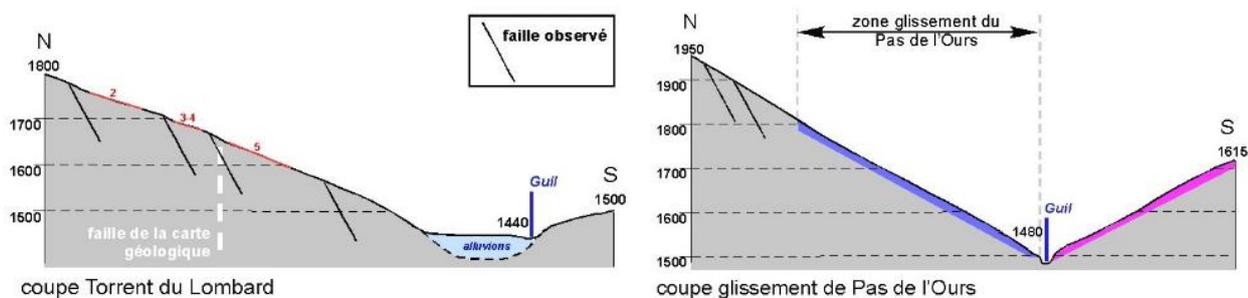


Figure 14 – Coupes N-S au niveau du Torrent du Lombard à gauche et au niveau du glissement du Pas de l'Ours, à droite avec la position des différents objets observés en surface ou sur la carte géologique. Sur la coupe de gauche, les localisations en rouge numérotent les différents replats identifiés dans le paysage (Figure 11, Figure 12 et Figure 13)

#### 1.4. Formations géologiques du régolithe et éléments de géomorphologie

Les formations superficielles issues de l'altération des roches et de leur transport sont généralement mal cartographiées à l'échelle du 1/50 000 (Lacquement et al. 2009 et 2022). Ce n'est pas le cas des cartes géologiques qui couvrent le territoire d'étude. Si la terminologie peut être affinée, les objets géologiques de surface sont relativement bien cartographiés.

Les observations complémentaires conduisent à identifier des objets géologiques non identifiés ou mettre en relation des surfaces morphologiques et leur déformation en lien avec des objets géologiques. Sans toutefois être exhaustifs dans ce chapitre seront abordés les éléments identifiés sur le terrain.

##### 1.4.1. Secteur de la Combe de Croze (Ouest d'Aiguilles) - dépôts de pente consolidés :

A l'ouest du village d'Aiguilles, sur le versant nord du Guil, au niveau du lieu-dit « les Rochas », affleurent des dépôts de pente d'épaisseur métrique (Figure 15). La puissance la plus importante est de 5 mètres. Ce dépôt recouvre les schistes calcaires du Crétacé. Il est constitué par une brèche silto-argileuse avec des blocs très anguleux pouvant atteindre plusieurs dizaines de centimètres. La base est plus argileuse et semble plus faiblement consolidée. La partie supérieure est consolidée avec la précipitation d'un ciment calcaire postérieur à la mise en place du dépôt. Les dépôts sont lités et parallèles à la pente avec un pendage d'une vingtaine de degrés au niveau du lieu-dit. Les roches de cette unité présentent une teinte légèrement orangée absente des roches du substrat et des moraines. Le dépôt de pente scelle une morphologie est n'est pas affecté par des mouvements de surface. Par contre ces dépôts sont incisés par les combes qui entaillent la planéarité du versant. Les dépôts n'atteignent pas le bas de la vallée, ils ne sont préservés que sur le versant au niveau des pentes relativement faibles (inférieure à 20 degrés)

Ce type de dépôts n'as pas été observé dans d'autres secteurs de ce versant et est totalement absent du versant sud.



Figure 15 – affleurement FL0106, lieu-dit le Rochas. La vallée est à droite de l'affleurement.

#### 1.4.2. Lieu-dit Bergerie de Chalvet des Borets – moraines / failles

Un peu en contre bas de la « Bergerie de Chalvet des Borets », le long du chemin menant « des Rochas » au « Torrent des Barres », un affleurement de moraines argileuses brunes à rares blocs roulés centimétriques blanc affleure sur une cinquantaine de mètres (Figure 16). L'emprise cartographique de ce dépôt est très faible, il correspond à un dépôt résiduel témoignant que la surface de ce versant correspond à l'ancienne surface glaciaire légèrement remodelée par l'érosion.

Le dépôt morainique recouvre une faille qui affleure sur plus d'une vingtaine de mètres carrés (Figure 17). Le dépôt morainique drape la faille en la scellant, les mouvements sur le plan de faille sont donc antérieurs au dépôt glaciaire. La faille affecte les Schistes lustrés, de direction N073 et inclinée vers le sud de 38 degrés, elle est affectée par des stries de direction N160 indiquant des mouvements normaux avec un compartiment supérieur abaissé situé au sud.



Figure 16 - Dépôt morainique à petits cailloutis noyés dans une matrice argileuse grise verdâtre abondante



Figure 17 - Dépôt morainique reposant sur un plan de faille – affleurement FLA0113

### 1.4.3. Autres versants, substrat affleurant et dépôts de versants non consolidés

La plupart des versants est constituée par des affleurements de Schistes lustrés généralement en place (Figure 18). En général, à l'affleurement, les roches sont altérées et des plaques centimétriques à décimétriques se détachent aisément. Les roches présentent une couleur grise verdâtre alors que lorsqu'elles ne sont pas altérées elles présentent des teintes bleu-grises. Souvent ces roches sont recouvertes par des colluvions qui correspondent à des plaques et paillettes de siltites et d'argiles (Figure 19). Ces dépôts de pente drapent les versants et sont associés à la dynamique post-glaciaire. Localement les dépôts de pente sont plus épais et sont constitués par des brèches à blocs jointifs, la matrice n'est jamais consolidée et elle est de nature argileuse. Ils correspondent alors à des dépôts de glissements de terrain d'épaisseur métrique à plurimétrique, dépendant de la dimension des objets déstabilisés. Dans l'exemple en Figure 20, le glissement de terrain est de grande dimension (glissement du Pas de l'Ours).



Figure 18 - Exemple d'affleurement de Schistes lustrés non recouverts par une formation du régolithe



Figure 19 - Exemple d'affleurement de Schistes lustrés recouverts par une fine couche de dépôt de versant avec argiles et plaquettes schisteuses.



Figure 20 – Assemblage de blocs plurimétriques formant un chaos au front de la zone instable du Pas de l'Ours. Les blocs forment des lentilles aplaties selon les plans de schistosité

#### 1.4.4. Dépôts alluvionnaires torrentiels et cônes de déjection

Au sud du Guil, au niveau du torrent du Peynen, des alluvions grossières remplissent le fond du vallon (Figure 21). Elles sont constituées par des blocs plus ou moins émoussés centimétriques à métriques de quartz et de schistes formant des dépôts conglomératiques. Des passées sableuses lenticulaires sont parfois préservées, elles sont peu nombreuses et correspondent à des sables à grains moyen à grossier passant à des conglomérats à galets imbriqués (Figure 22). Lorsque le torrent arrive au niveau de la vallée du Guil, les dépôts torrentiels sont accumulés pour former un cône de déjection torrentiel caractéristique. Actuellement le cône est encore actif et on y observe des dépôts récents et des incisions indiquant l'apport régulier de matériaux.

La réalisation de la carte des pentes permet d'identifier avec précision les limites entre les cônes de déjection et les alluvions (Figure 23).

Le fond de la vallée du Guil et de ses affluents caractérisent une zone plate avec des pentes inférieures à 3° correspondant à un domaine où les terrains correspondent aux alluvions drainés par le Guil. Au débouché des vallées torrentielles du Lombard et du Peynen, les pentes fortes (entre 3 et 10°) en forme d'éventail correspondent aux cônes de déjection qui viennent s'étaler sur les dépôts alluviaux. Celui du torrent de Peynen est de grande taille et s'étale quasiment jusqu'à atteindre le pied de versant opposé. Celui du Lombard est de plus petite taille, la proximité de la rivière du Guil est sans doute à l'origine de l'évacuation des matériaux au fur et à mesure de leur arrivée au débouché du torrent. Une grande partie du village d'Aiguilles est installé sur le cône torrentiel. La taille plus réduite de ce cône de déjection est sans doute liée au fait que la position du Guil a peu changé depuis qu'il a commencé à se construire car il n'y a pas de critère permettant d'indiquer qu'il y ait eu une incision de ses dépôts.



Figure 21 - Falaise bordant le torrent de la Peynen avec ses dépôts conglomératiques



*Figure 22 - Niveaux sableux et conglomératiques à galets moyennement émoussés imbriqués dans le torrent de Peynen collés à une paroi de schistes lustrés*

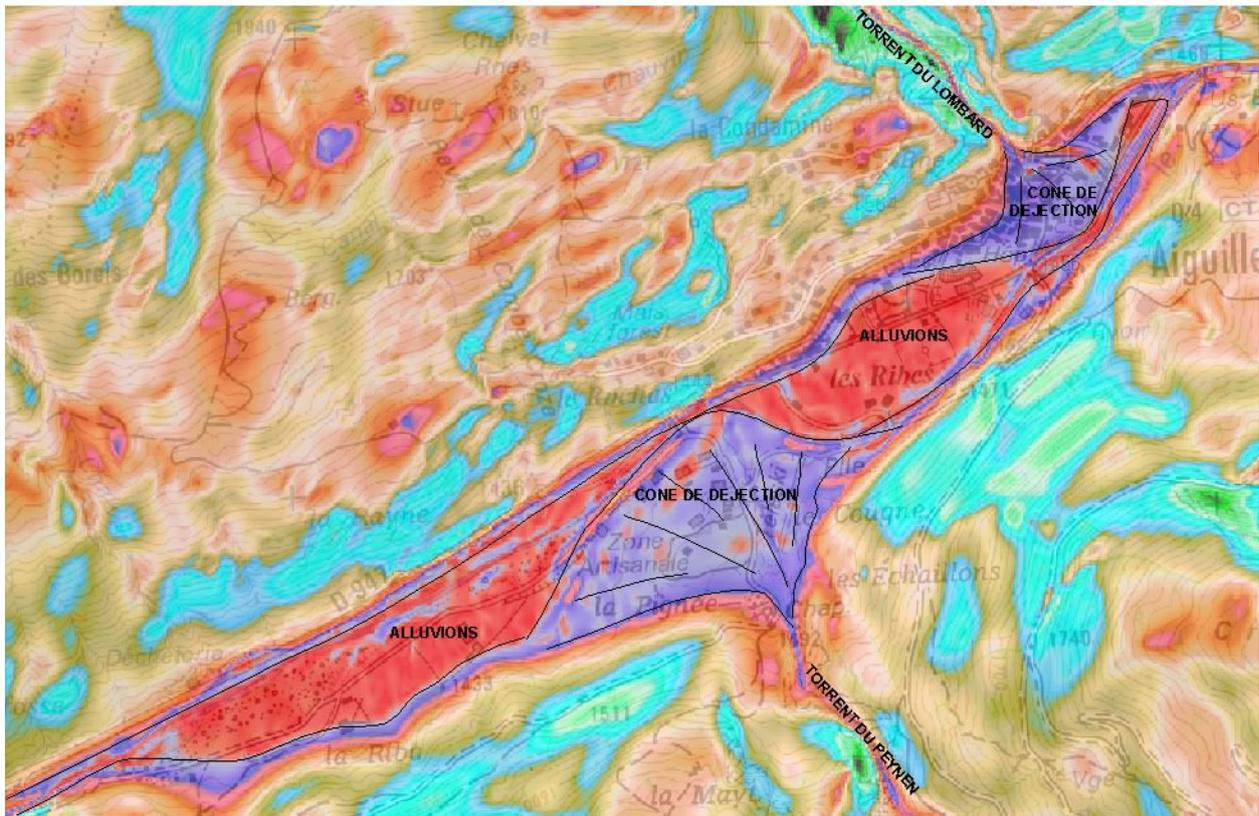


Figure 23 - Extrait de la carte des pentes avec focus sur le secteur d'Aiguilles et l'exutoire du torrent de Peynen et identification cartographique de l'aire des alluvions des fonds de vallée et des cônes de déjection au droit des vallons torrentiels du Lombard et de Peynen.

#### 1.4.5. Versants sud du Guil, masses glissées

Les versants nord et sud du Guil diffèrent à plusieurs titres. Pour les deux secteurs, la nature du substrat géologique est identique, on y observe les Schistes lustrés dans différents faciès structurés de la même manière (voir chapitre structural). Or, la carte géologique harmonisée indique que le versant sud est couvert par des formations géologiques peu présentes sur le versant nord (Figure 24). En effet on y identifie deux unités géologiques :

- Des formations géologiques de surface avec dans un même caisson rassemblé les dépôts d'éboulis, de glissements et moraines mêlés ;
- Un caisson rassemblant les dépôts associés à des glissements de terrain, coulées boueuses, écoulement général désorganisé, loupes de glissement récentes et cônes de solifluxion.

Ces caissons illustrent la présence de zones déstabilisées et partiellement remaniées. Sur le terrain, une observation macroscopique de la zone permet d'identifier aisément les masses glissées avec les cicatrices d'arrachement (Figure 25). Au vu des paysages, une partie des roches indiquées comme en place sont à attribuer aux masses glissées, seules les roches situées dans les falaises situées au-dessus des masses glissées et celles présentes dans les vallées latérales associée au torrent de Peynen n'ont pas subi de glissements.

A l'entrée du torrent de Peynen, au niveau du parking situé à proximité de la chapelle du lieu-dit le Pigné, un affleurement permet de mettre en évidence que la base de la masse glissée ne correspond pas à un plan unique mais a une zone diffuse de plusieurs mètres voire dizaine de mètres d'épaisseur. En effet on

On observe un affleurement de schistes lustrés affectés par des fractures ouvertes sans remplissage avec un déplacement centimétrique de la partie supérieure vers la vallée (Figure 26). Quelques mètres au-dessus on observe d'autres plans qui présentent les mêmes caractéristiques. Les plans de fractures correspondent à des plans préexistants définissant des structures losangiques avec : i) les plans de schistosité pour les plans faiblement pentés et ii) les plans de failles orientés N070 inclinés vers le nord d'environ 70°. Cet affleurement se situe dans la partie inférieure de la zone de glissement qui devait être située quelques mètres au-dessus mais qui a été ici érodée. Lorsque l'on s'enfonce dans le vallon ces structures losangiques disparaissent pour laisser la place à une roche saine non affectée par des déformations cassantes tardives ouvertes.

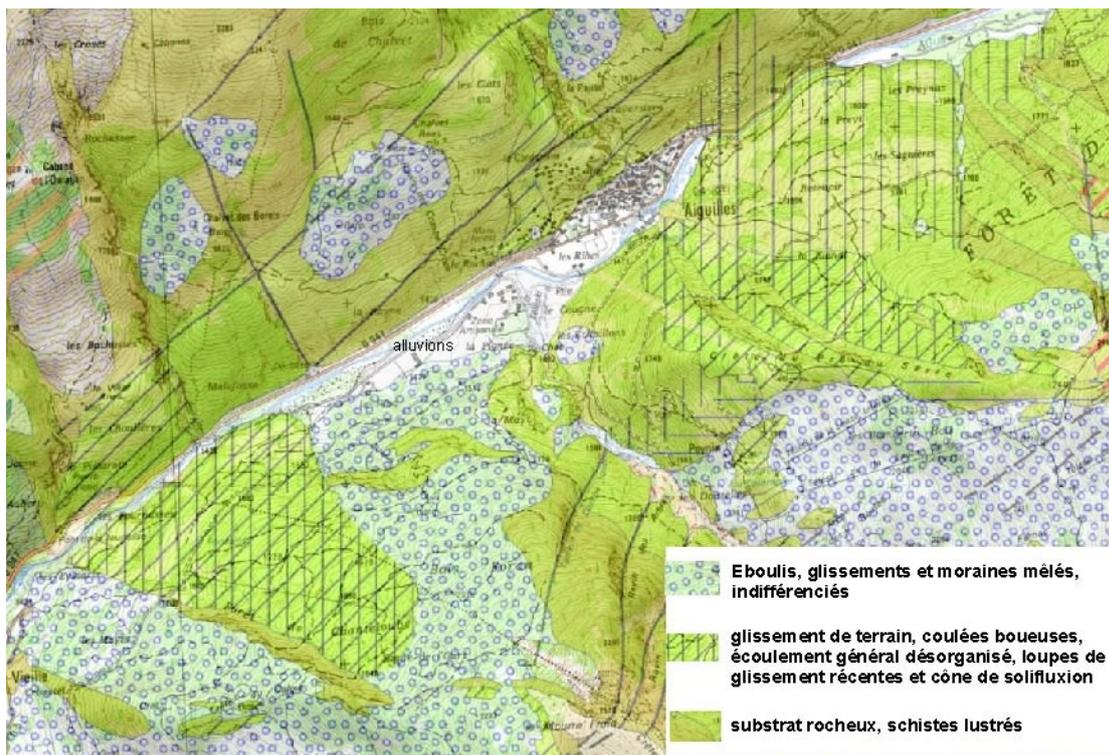


Figure 24 - Carte géologique harmonisée du secteur d'Aiguilles drapée sur le fond topographique à 1/25 000

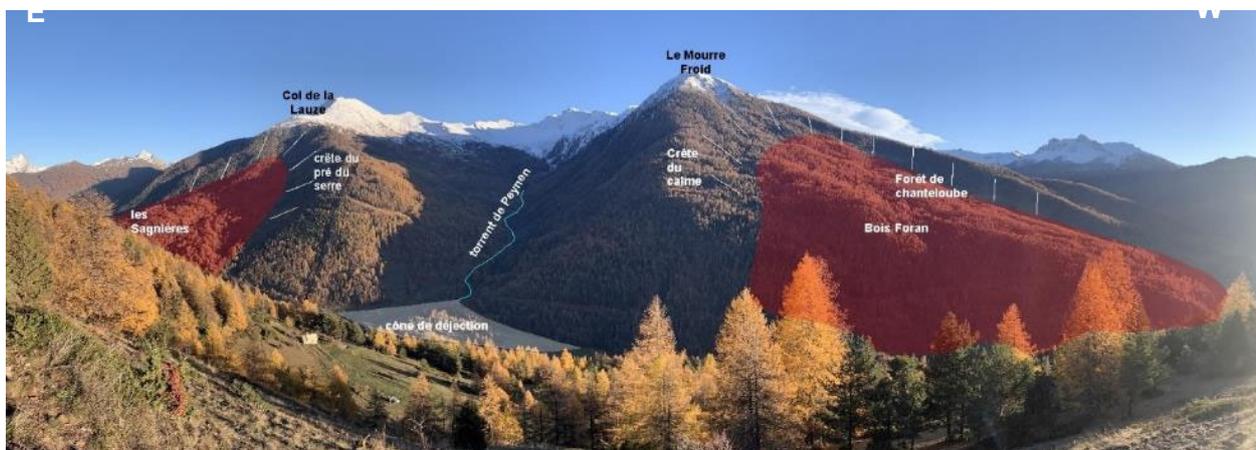


Figure 25 - Photographie de paysage habillé du versant sud du Guil avec habillage géomorphologique des masses glissées

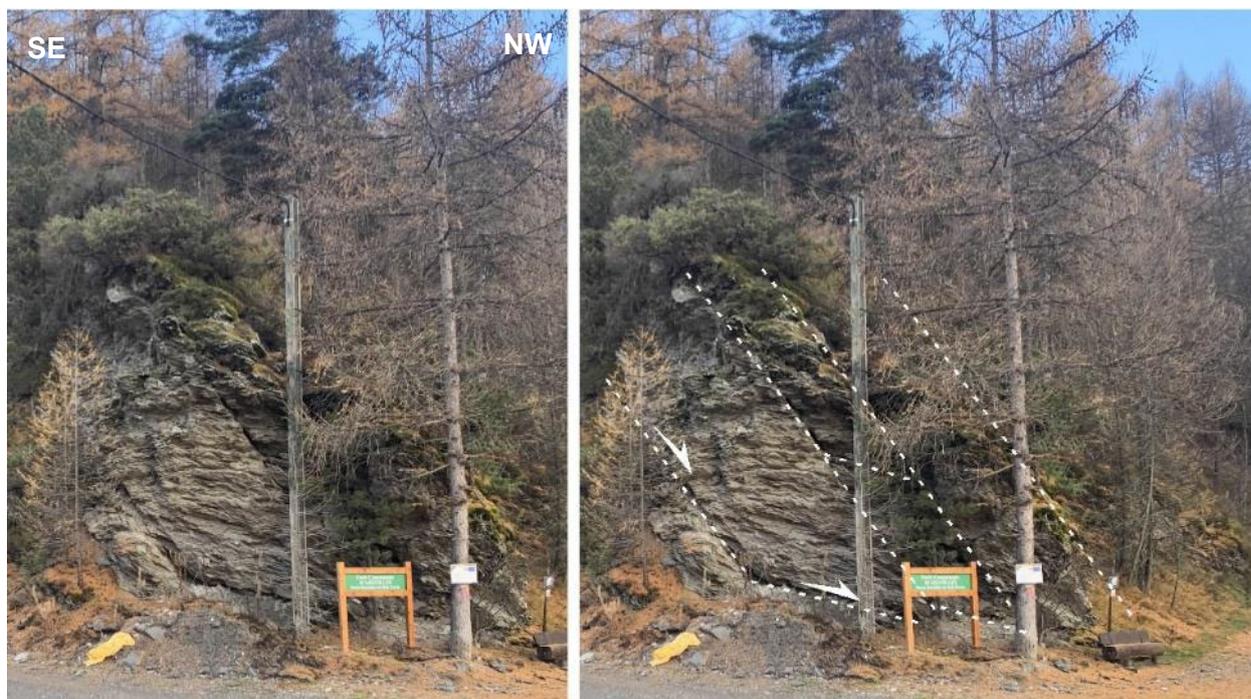


Figure 26 – Photographie de l’affleurement de la chapelle du lieu-dit le Pigné et habillage avec mise en évidence des plans de fractures ouvertes reprenant les plans de schistosité et les failles de direction N070

La masse glissée qui fait face au village d’Aiguilles a atteint le versant nord comme l’indique la carte géologique (Figure 24). En amont de la masse glissée la vallée du Guil se situe à +1500 m NGF, en aval la vallée passe à +1460 m NGF. Sur une distance de 1,2 km, La pente calculée de la vallée sur ce segment est donc de 3.3% alors que dans la plaine alluviale en amont et en aval elle est de 1.3% (Figure 27). Cet accroissement localisé de la pente et le décalage de la continuité entre les parties amont et aval, de l’ordre de la vingtaine de mètres suggère que la masse glissée se soit mise en place rapidement après la disparition du glacier et la mise en place des dépôts alluviaux. Actuellement le front de la masse glissée qui fait face au village d’Aiguilles est affecté par l’érosion (Figure 28). Cette érosion est facilitée par le glissement actif du Pas de l’Ours qui repousse le Guil vers le sud entraînant l’érosion de la berge sud.

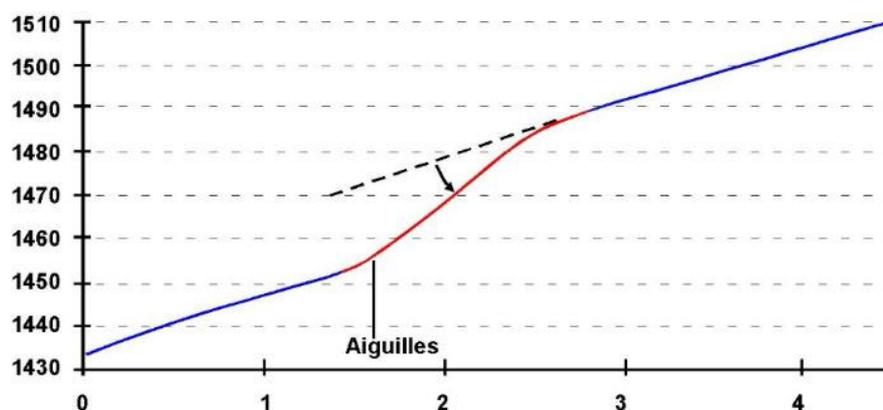


Figure 27 - Profil en long de la vallée de l’amont (à droite) vers l’aval (à gauche) dans le secteur d’Aiguilles, en bleu : pente amont et aval la zone de glissement, en rouge : pente dans la zone frontale du glissement du Pas de l’Ours.

E

W



Figure 28 - Photo au niveau du Guil face au glissement du Pas de l'Ours, le front de la masse glissée du versant sud situé au pied du col de Lauzière forme une falaise d'une vingtaine de mètre de hauteur. Les roches sont instables et viennent alimenter le lit de la rivière Guil.

## 1.5. Zone du glissement du Pas de l'Ours

### 1.5.1. Caractéristiques du versant:

Au niveau du versant où s'établit le glissement de terrain du Pas de l'Ours, il y a peu de végétation ce qui facilite les observations directes (Figure 29). En surface, il est difficile de définir les structures. En effet, les déplacements récents s'opèrent en faisant en sorte que la masse glissée corresponde à un mélange mêlant blocs centimétriques à plurimétriques inclus dans une matrice sablo-argilo-silteuse relativement abondante mais n'empêchant pas les blocs de grande taille d'être jointifs. Généralement les blocs sont de forme lenticulaire, l'allongement principal des blocs correspond au plan de schistosité (Figure 20). Pendant leur transport dans la pente, les blocs tendent à se paralléliser avec la pente de la topographie. En pied de pente, plusieurs blocs avec une schistosité verticale ont pu être observés. Cela suggère que dans la partie frontale les blocs les plus gros peuvent se mettre à tourner pour basculer vers l'avant.

Dans la partie orientale, les observations suggèrent une base du glissement qui émerge au niveau de la rivière (Figure 30). En effet, sur le terrain on observe que le mur qui portait l'ancienne route départementale subit une pression latérale venant rompre sa structure (A, Figure 30). La masse glissée forme, en son front, un bourrelet contenant un grand nombre de blocs dont la plupart présente une schistosité verticale (B, Figure 30). Juste à l'arrière du bourrelet, plusieurs failles normales affectent le toit du glissement (C, Figure 30). Vers l'ouest le front de glissement se situe au niveau de la route (Figure 31). Il disparaît ensuite pour s'exprimer de manière plus frustre jusqu'à l'entrée du village. Toutefois la route présente de nombreuses dégradations indiquant une poussée de l'ensemble de la zone vers le sud avec un léger basculement de la route et la présence de fractures ouvertes parallèles et perpendiculaires à la direction du glissement (Figure 32).



Figure 29 - Versant du glissement du Pas de l'Ours



Figure 30 - base du glissement du pas de l'Ours secteur oriental

A partir de l'ensemble des informations récoltées, on note que les déplacements ont été jusqu'à présent plus importants dans la partie orientale. Toutefois les indices structuraux récoltés suggèrent que l'ensemble du versant depuis l'entrée du village quasiment jusqu'à l'ancien pont, va être affecté par le mouvement de versant. La masse en cours de mouvement est fortement déstructurée et résulte de mouvements de versants antérieurs. En effet, les mouvements actuels sont une reprise des déplacements d'une masse qui a déjà subi des déplacements importants et qui s'est remise en mouvement.

Sur le versant en cours de mouvement, il est impossible de pouvoir déterminer la géométrie de la structure en profondeur. Pour pouvoir la caractériser, il est nécessaire de chercher les informations en dehors de cette zone.



Figure 31 - Chaussée déformée par le glissement de terrain - zone centrale



Figure 32 – Chaussée déformée à l'entrée du village avec un enrobé fracturé et une route présentant un léger devers vers le vallon

### 1.5.2. Sondage

En Aout 2022, un sondage de 70 mètres a été réalisé afin de définir le plan de base du glissement dans la partie occidentale (Figure 33). Le sondage est situé sur le chemin menant au lieudit « *les Eygliers* ». Il est situé dans un des premiers virages en aiguille bordant le glissement actif. Les coordonnées du sondage sont :

- En WGS84 : X = 6.8775484 ; Y = 44.7862279
- En L93 : X = 1006588 ; Y = 6417200

Le sondage a été réalisé à une altitude de : +1549 mètres, sur 77.30 mètres de profondeur sa référence BSS est : BSS004EVAU.

Le sondage est carotté dans la partie supérieure (36 premiers mètres) puis réalisé en destructif avec un échantillonnage tous les 1.5 mètres, jusqu'à 77.30 mètres de profondeur. La profondeur atteinte se situe juste au niveau de l'altimétrie de la rivière du Guil toute proche.

Les résultats du sondage sont présentés dans un rapport spécifique à venir . Parmi ceux-ci, sont à retenir :

- Une épaisseur des éboulis de 27.50 marqués par une matrice abondante et des blocs de petites tailles ;
- Le passage à la roche massive à partir de 27.5 mètres de profondeur jusqu'à 77.30 mètres. Soit à l'altitude + 1471.70 mètre ;
- La présence de passages altérés marqués par une avancée rapide de l'outil de forage à :
  - 39 m de profondeur sur 30 cm d'épaisseur ;

- 40 m de profondeur sur 50 cm d'épaisseur ;
- 43.5 m de profondeur sur une vingtaine de cm d'épaisseur ;
- 61.3 m avec un changement de couleur de la lithologie passant au brun/beige sans modification de la vitesse d'enfoncement sur quelques centimètres.

Ce forage est établi pour l'installation d'un piézomètre afin d'établir un suivi du glissement en lien avec les conditions hydrogéologiques et de définir le positionnement de la base du glissement afin de poursuivre les acquisitions nécessaires à la compréhension du phénomène de mouvements de terrain sur le versant.

On peut estimer que la masse glissée du « Pas de l'Ours » fait une cinquantaine de mètres d'épaisseur, la base du glissement serait située à +1488 mètres NGF, soit 15 mètres au-dessus du niveau de la rivière Guil à la verticale du sondage. Elle est caractérisée par deux ensembles :

- La partie supérieure fortement désorganisée avec des blocs et une matrice, sans structure ;
- La partie inférieure est constituée par le massif rocheux affecté de failles dont le nombre décroît avec la profondeur.



Figure 33 – Forage du Pas de l'Ours réalisé à l'été 2022 avec exemple de carotte prélevée

### 1.6. Discussions masses glissées et structures géologique

Lorsque l'on reprend l'ensemble des éléments explicités dans les chapitres ci-dessus, à savoir : géométrie des versants, pentes, profondeur dans le forage, cartographie des masses glissées, pentes de la vallée du Guil, etc... Il est possible de proposer une coupe interprétative passant par le glissement du Pas de l'Ours (Figure 34). La masse glissée « les Saignières », située au sud de la vallée du Guil, recouvre très certainement des alluvions qui comblent le fond de la vallée glaciaire. Le front de ce glissement a atteint le versant nord repoussant la rivière Guil au pied du versant Nord. Le versant Nord est affecté d'un glissement en masse guidé par la présence de structures tectoniques extensives (failles de direction EWE-WSW). La profondeur du glissement du « Pas de l'Ours », identifié en sondage est relativement faible, une soixantaine de mètres à la verticale soit une cinquantaine de mètres d'épaisseur. Le tiers supérieur de la masse glissée est fortement désorganisé et recouvre un ensemble rocheux affecté par des failles jusqu'à atteindre la base du glissement.

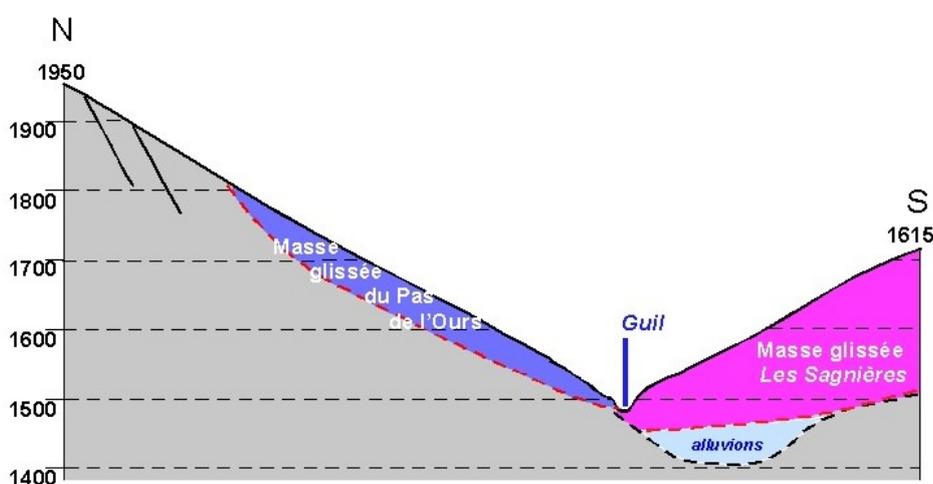


Figure 34 - Coupe interprétative du secteur du Pas de l'Ours

Dans les paragraphes précédents, il a pu être mis en évidence que prendre en compte le contexte géologique dans un cadre plus large que la zone purement affectée par le glissement du Pas de l'Ours était tout à fait judicieux afin de définir le contexte et les paramètres géologiques influant sur les instabilités de versants. De ces observations, il en ressort un contexte complexe, structuré par une anisotropie planaire développée (débit schisteux) affectant la série des Schistes lustrés. Cette anisotropie planaire est inclinée vers l'Ouest avec une pente moyenne de 25°. L'ensemble est ensuite découpé par des failles relativement pentées (supérieur à 45°) découpant le massif avec une direction préférentielle (N050) légèrement oblique à l'axe de la vallée (N075).

L'obliquité entre les structures (failles et schistosité) et la direction principale de la vallée a pour conséquence un comportement différent des versants nord et sud du Guil. Sur les deux versants, la présence des failles fragilise le massif rocheux en le découpant en panneaux d'épaisseur variable dans lequel s'infiltrer les eaux de surface. Lorsque les failles sont inclinées dans le même sens que le versant de la vallée, elles peuvent alors être utilisées comme structure de base de zone de glissement. L'instabilité venant de la combinaison avec des facteurs externes tel que la sape de la base du versant par la rivière par exemple. C'est sûrement ce qui se produit au niveau de la zone du glissement du Pas de l'Ours ; la schistosité joue un rôle secondaire car elle est à contre pente par rapport au glissement.

Pour le versant sud du Guil, les failles permettent à l'eau de pénétrer le massif mais c'est la schistosité qui se retrouve cette fois-ci en disposition aval pendage. Les plans de schistosité

affectent l'ensemble du massif et servent de zones de discontinuités prédisposées à servir de niveau de décollement. La combinaison de facteurs est donc ici aggravante sur l'instabilité des versants et la genèse de mouvements de terrains de plus grande ampleur engageant l'ensemble du versant.

La Figure 35 reprend de manière schématique l'ensemble des éléments. La coupe proposée ne représente pas les profondeurs réelles des niveaux de base des glissements. Elle a pour but d'illustrer le lien entre la géométrie des structures affectant les roches et la vallée du Guil. Les instabilités des versants résultent de mouvement en masse de grande dimension telle que celles définie par Zischinsky (1968) issues de la disparition du glacier lors du passage au stade interglaciaire (Hippolyte et al., 2012).

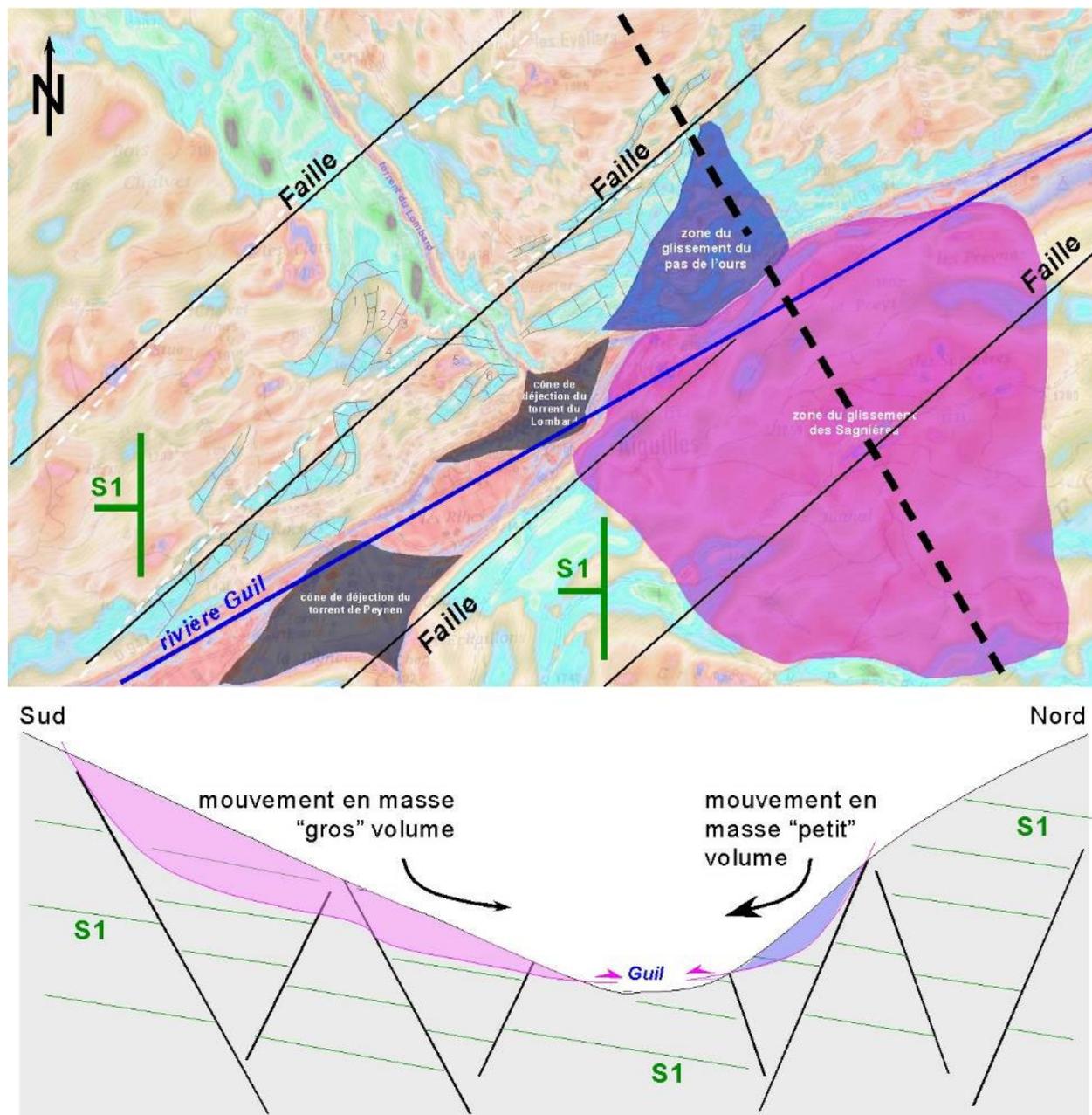


Figure 35 - Schéma de principe sur les relations entre la schistosité et les failles affectant les Schistes lustrés et les versants nord et sud de la vallée du Guil. La coupe N-S correspond à la coupe en pointillé sur la carte

## 2. Val d'Arly

D'après les cartes géologiques de Annecy-Ugine et Saint-Gervais (Doucoux et al, 1992 et Rosset et al., 1977), le substratum observé sur le site d'étude est caractérisé par des micaschistes du Paléozoïque sur lesquels reposent en discordance les séries sédimentaires du Méso-Cénozoïque débutant au Trias. Localement, des terrains sédimentaires du Carbonifère peuvent être présents avec une faible épaisseur. Les terrains discordants sont inclinés vers l'ouest d'une trentaine de degrés puis laissent place à des unités déformées à vergence ouest. La coupe géologique extraite de la carte géologique de Saint-Gervais rend compte de la géométrie en grand de la zone d'étude (Figure 36). Le versant oriental de la vallée de l'Arly est affecté par des déformations de versant de grande ampleur apportant des volumes importants de matériels au niveau de la vallée **ref biblio a ajouter**

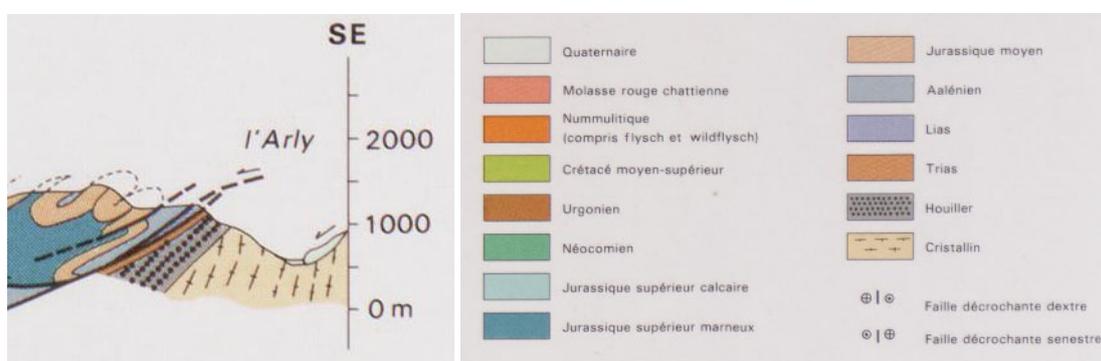


Figure 36 - Extrait de la coupe géologique de la carte géologique à 1/50 000 de Saint-Gervais

### 2.1. Objectifs de l'étude géologique

Le contexte géologique de la zone d'étude est complexe avec la présence de deux discordances, de lithologies variées et d'un socle micaschisteux structuré, le tout fortement incisé par une vallée dont les caractéristiques sont complexes. Si la géométrie des structures est bien connue du fait des nombreuses études sur le secteur (**ref biblio à ajouter**), la connaissance de la mise en place et l'évolution des formations superficielles sont encore à préciser. Afin d'établir un état des lieux des structures et de compléter les données existantes, des observations complémentaires ont été réalisées. Elles consistent en :

- La validation de la cartographie des différents ensembles géologiques, notamment la position des discordances ;
- L'identification des faciès des premiers dépôts au-dessus des discordances et de la nature des terrains sous-jacents, notamment en terme d'altération (transformation de la roche) ;
- La caractérisation spatiale (pendage et direction) des structures affectant les micaschistes ;
- La caractérisation des structures des terrains glissés et leur relation avec le substrat ;
- La compréhension des phénomènes associés à la genèse des glissements de terrain et la fragilité du versant.

Au cours des visites de terrain, plusieurs dizaines d'affleurements ont été observés dans le versant de Cohennoz mais aussi dans les alentours pour obtenir des informations comparatives et mieux appréhender les structures.

## 2.2. Contexte géographique

Le secteur affecté par les glissements de terrains actifs correspond au versant est de la rivière Arly au niveau de la commune de Cohennoz. Afin d'identifier les paramètres géologiques rentrant en compte dans la genèse et le contrôle des glissements de terrain, l'emprise de la zone d'investigation étudiée est plus vaste. Elle comprend notamment le versant ouest de la rivière Arly face au village de Cohennoz ainsi que la partie amont de la vallée jusqu'au village de Praz-sur-Arly (Figure 37).

En amont du village du Flumet, la vallée de l'Arly est une vallée large typique des vallées glaciaires avec une géométrie en U. A partir de ce village et jusqu'à Ugine la morphologie de la vallée se modifie complètement. Les pentes deviennent abruptes. La largeur de la vallée diminue fortement pour devenir un canyon étroit. La trajectoire de la rivière devient sinueuse. A partir de Cohennoz, la vallée s'élargit mais les pentes fortes des versants persistent jusqu'à ce que la rivière Arly rejoigne la rivière La Chaise au niveau d'Ugine. Sur les 15 kilomètres qui séparent Praz sur Arly d'Ugine ; la rivière Arly passe de l'altitude 1000 mètres à 400 mètres, soit un dénivelé de 600 mètres.

Le relief à l'ouest de la rivière Arly est caractérisé par une succession de crêtes orientées N020 s'échelonnant de 1500 à 2100 mètres et découpées par des vallées perpendiculaires qui viennent alimenter la rivière Arly. A l'est le relief est plus simple, avec un plateau (plateau des Saisies) incisé par une rivière s'écoulant vers le nord puis rejoignant l'Arly au nord de Crest-Voland. De petites rivières incisent le versant Est, ils forment des ravines appelées nants. Au sud le relief est constitué par une crête étroite à partir du Mont Bisanne situé à 1941 mètres lié à la présence d'une grande vallée glaciaire, associée à la rivière Doron, présente plus au sud.

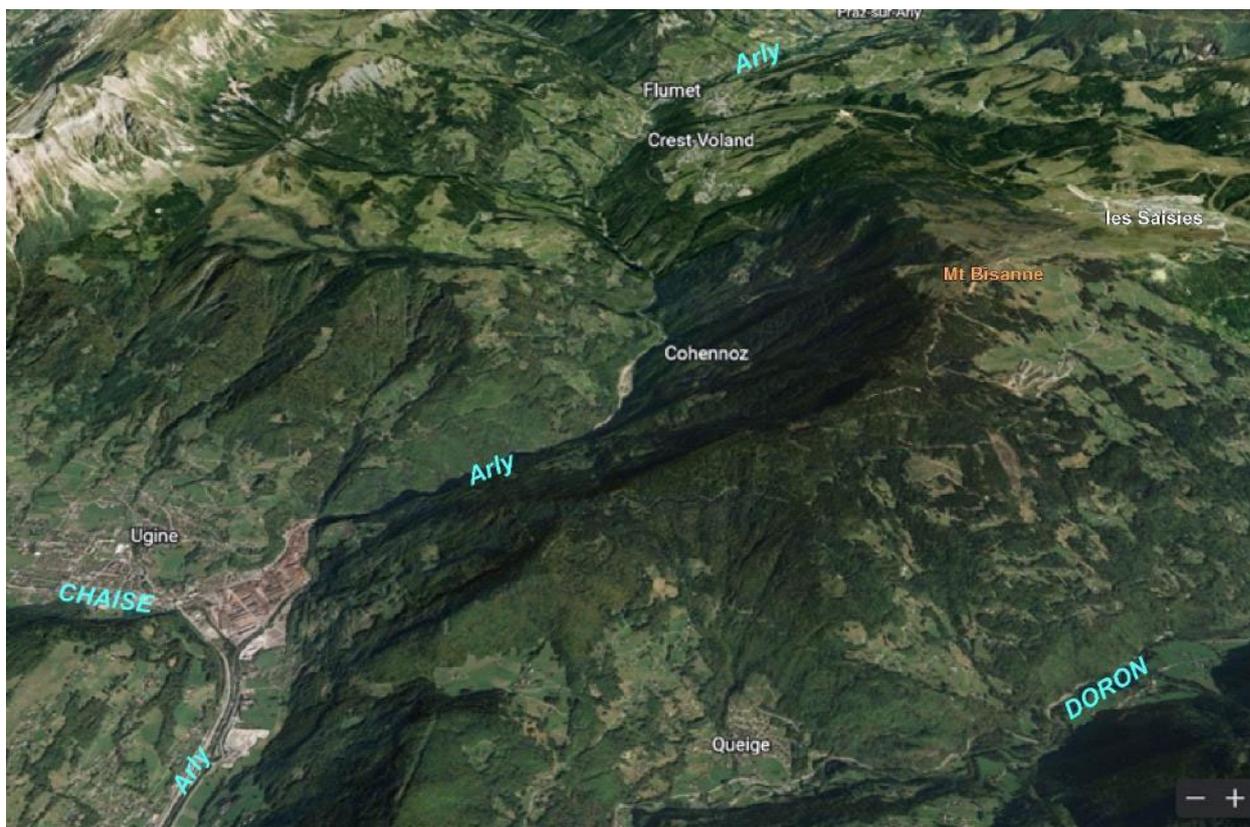


Figure 37 - Vue aérienne depuis le sud sur la zone d'étude (GoogleEarth)

## 2.3. Contexte géologique

### 2.3.1. Lithologies

Le secteur est marqué par une géologie complexe avec dans le secteur de Cohennoz, à l'est de la rivière un socle métamorphique sur lequel repose en discordance des séries du Carbonifère, en fond de vallée. A l'ouest affleurent les séries sédimentaires mésozoïques débutant au Trias. Les versants sont tapissés de masses glissées, d'éboulis et colluvions. Dans le fond de la vallée des alluvions torrentiels sont présents uniquement dans les secteurs où le fond de vallée est large. La zone d'étude se situe à cheval sur deux cartes géologiques desquelles sont issues les descriptions des différentes unités litho-stratigraphiques (carte d'Annecy-Ugine, feuille numéro 702 (Doudoux et al., 1992) et carte de Saint-Gervais-Les-Bains, feuille n°703 (Rosset et al, 1976)). Les unités litho-stratigraphiques correspondent à :

-  : la série satinée de Belledonne constituée par des micaschistes ocellaires et gneiss albitiques appartenant à la zone delphino-helvétique. La série est constituée par une épaisse et monotone formation de micaschistes à séricite et muscovite. Plusieurs faciès sont présents au sein de cette série, le plus répandu est un micaschiste sériciteux de teinte gris acier avec des lits quartzeux en amandes. Le second, moins abondant est le faciès quartzeux qui présente des roches plus résistantes. On peut également observer des passées de schistes noirs charbonneux. Les différents faciès ne sont pas distingués cartographiquement. Cette série résulte de l'enfouissement et du métamorphisme d'une série sédimentaire à alternance de schistes argileux, de marnes et de grès avec la présence de quelques niveaux volcaniques. Cette série correspond aux roches dites de socle.
- **H<sub>4-5</sub>** : Les terrains carbonifères correspondent aux terrains dit houillers de la zone delphino-helvétique. Datés du Westphalien supérieur et Stéphanien, ils correspondent à des conglomérats, grès et schistes à plantes. La partie inférieure de la série est marquée par la présence de bancs conglomératiques d'épaisseur métrique à périmétrique à galets de micaschistes et de quartz. Ces dépôts ne sont présents qu'entre Flumet et Ugine sur la rive droite de l'Arly.

Selon les cartes géologiques, les descriptions des séries diffèrent pour la série méso-cénozoïque, les découpages stratigraphiques ne sont pas identiques. Une description synthétique est proposée. La série débute par des niveaux mal datés et attribués au Permo-Trias. La série se poursuit avec l'ensemble du Jurassique et du Crétacé. Le bassin versant de la zone d'étude s'arrête au niveau de la base de la série crétacée au niveau de la crête constituée par les calcaires de l'Urgonien à l'ouest. Seule la partie inférieure de cette série se situant dans l'environnement de la zone d'étude est décrite ci-dessous.

- **rtA1 ou tQ** : Les terrains du Permien et Trias, constitués par des quartzites verts, gris ou rouge violacé et des grès arkosiques à galets de quartz laiteux, blanc ou rose épais d'une vingtaine de mètres (Figure 38). Ils reposent en discordance sur les terrains sous-jacents. Ils sont surmontés par des grès quartzeux de couleur clair dont l'épaisseur varie de quelques mètres à plusieurs centaines de mètres correspondant aux terrains triasiques. Le ciment est riche en séricite, chlorite ainsi qu'en calcite.
- **tA2-3 et tD** : A la série de base détritique grossière du Trias succède des dolomies grises bleutées en bancs décimétriques à joints péliteux foncés surmontés par des cargneules monogéniques puis polygéniques renfermant des éléments de schistes argileux verts, rouges et noirs, de schistes calcaires liasiques et de lentilles métriques de marbre blanc à patine rouge correspondant dans

les alpes aux accidents tectoniques importants. Ces cargneules peuvent également résulter de l'altération des dolomies, de circulation d'eau séléniteuses.

- **L1-4** : Le Lias inférieur est constitué par des alternances de bancs de schistes noirs et calcaires en bancs décimétriques. La partie inférieure de la série est généralement fortement tectonisée, parcourue de veines et d'amas de calcite leur conférant un aspect bréchique. Dans la partie supérieure les bancs calcaires deviennent de plus en plus épais et gréseux.
- **L7-8** : le Lias supérieur est constitué de schistes et schistes à nodules siliceux pouvant atteindre des extensions métriques. Quelques niveaux calcaires sont également présents. La série est très replissée et sa puissance estimée pourrait être de l'ordre de 300 mètres.
- **J1-2a** : Le Bajocien et le Bathonien inférieur sont caractérisés par des alternances de schistes et calcaires sablo-argileux noirs dont la puissance totale est estimée entre 100 et 200 mètres. Cette formation apparaît fréquemment en reliefs formant des falaises.
- **J2b-4** : Le Bathonien supérieur et l'Oxfordien sont constitués d'une puissante série schisteuse noire bleutée dont la partie supérieure s'enrichie en bancs calcaires noirs et nodules pyriteux. Cette unité correspond aux Terres Noires.



Figure 38 - Exemple de grès permo-triasique contenant des quartz roses

Les formations superficielles présentes sur le secteur et représentées cartographiquement sont peu nombreuses. Sont distinguées les unités suivantes :

- **Gy-z ou Gy** : Les dépôts morainiques correspondant essentiellement à des moraines de fonds compactés qui couvrent de vastes surfaces dans la partie amont de la zone d'étude. Elles sont constituées de cailloux hétérométriques noyés dans une matrice sablo-argileuse. L'épaisseur est généralement faible, métrique à pluri-métrique.
- **U** : Tufs quaternaires correspondant à des plaquages de concrétions liées à des sources carbonatées. De faible extension, ces dépôts ne sont pas présents dans le secteur de Cohennoz.
- **Fz** : Alluvions quaternaires holocènes constitués par des sables et graviers grossiers ainsi qu'à des dépôts torrentiels conglomératiques dont la taille des éléments les plus grossiers est métrique.
- **C** : Les colluvions, éboulis et moraines remaniées sont constituées par des formations meubles à matrice argilo-sableuse qui renferme des éléments de toute forme (anguleux, arrondis) et de nature variée dépendant de la nature des roches qu'elles remanient. Elles proviennent des formations sous-jacentes altérées et remaniées.
- **E** : Les éboulis drapent une partie des pentes des versants. Il n'y a pas de distinctions entre les éboulis « vifs » et les éboulis « stabilisés », le plus souvent colonisés par la végétation. Leur épaisseur est variable.

En surcharge sont identifiés les terrains glissés ou éboulés (gl-E), écroulements et loupes de glissements. Ces terrains ne sont pas forcément stabilisés, leur puissance et géométrie ne sont pas connues. Leur nature est directement liée à la nature des roches qu'elles remanient. La notice de la carte d'Ugine indique que les grands glissements de la vallée de l'Arly intéressent avant tout les micaschistes de la série satinée ainsi que les terrains sus-jacents. Le glissement du « Moulin Ravier » a obstrué à plusieurs reprises la vallée de l'Arly. Face à ce glissement le versant opposé (rive droite) a subi un glissement ancien avec la présence de micaschistes altérés sur des alluvions anciennes identifiées en sondage. De nombreux tassements de versants sont également identifiés avec la présence d'affaissements en marches d'escalier illustrant des décalages par failles.

Les observations réalisées au cours de cette étude n'ont pas cherché à préciser les tracés cartographiques des différentes unités du substrat ainsi que les formations superficielles, reportées sur les documents publiés. Elles ne seront pas discutées. En revanche, une attention particulière a été apportée aux discordances et notamment à la nature des roches situées sous cette discordance et plus particulièrement aux phénomènes d'altération.

### 2.3.2. L'altération

Deux discordances sont présentes au sein de la série. Chacune d'entre elles est préservée avec des dépôts transgressifs reposant en contact normal sur leur substrat. La plus ancienne correspond aux terrains d'âge Carbonifère supérieur reposant sur les roches déformées du Paléozoïque inférieur micaschisteux, elle est dite infra-carbonifère. La seconde, plus récente, correspond aux roches du Permien reposant en discordance sur les terrains houillers et le socle micaschisteux, elle est dite infra-permienne.

Dans les deux cas, il n'y a pas de terrains altérés meubles préservés sous les niveaux discordants. Par contre lorsque les terrains du Permien reposent directement sur les terrains métamorphiques schisteux, on observe que les micaschistes présentent une décoloration lie de vin diffuse qui est absente lorsque ce sont les dépôts carbonifères recouvrent les micaschistes (Figure 39). Cette décoloration est due à la préservation d'une partie du profil d'altération (la zone fissurée supérieure) qui s'est formée juste avant

les dépôts du Permien. La décoloration des roches est systématique dès que l'on s'approche de la discordance. La bande altérée préservée est au minimum d'une dizaine de mètres. L'altération est un phénomène *per descensum* qui s'effectue depuis la surface pour progressivement s'atténuer en profondeur. Il est difficile d'estimer la profondeur de roche ayant subie ces modifications. La partie supérieure du profil d'altération a été décapée avant la mise en place des dépôts permo-triasiques. Les roches érodées correspondent à l'ensemble de la partie meuble (allotérite et isaltérite) ainsi que la partie supérieure de l'horizon fissuré.



Figure 39 - Comparaison entre deux affleurements de micaschistes, la première photographie (à gauche) présente des couleurs grise à noires caractéristique des roches saines, la seconde photographie (à droite) montre un affleurement de micaschistes avec une teinte lie de vin à rougeâtre situé juste sous la discordance avec les dépôts de grès du Permien

Lorsque les terrains permo-triasiques ne reposent pas directement sur les micaschistes, c'est-à-dire lorsque les terrains datés du Carbonifère sont préservés. Il n'a pas été observé de caractéristiques macroscopique permettant d'identifier un horizon fissuré résultant d'un phénomène d'altération. Les conglomérats de la base du Carbonifère renferment des micaschistes ne présentant pas de décoloration rougeâtre (Figure 40) et les micaschistes sous-jacents ne présentent pas de décoloration lie de vin. De la même manière les dépôts du Carbonifère situés juste sous la discordance permo-triasique ne présentent de décoloration ou de structure macroscopique particulière permettant d'identifier la préservation d'un horizon fissuré.



Figure 40 - Conglomérat du Carbonifère reposant juste au-dessus des micaschistes, on y trouve des galets de micaschistes gris dans une matrice schisteuse grisâtre

### 2.3.3. Structure géologique

#### d) Géométrie et âge des structures

Pour les formations du substrat (roches du Paléozoïque et du Méso-Cénozoïque), les séries les plus anciennes sont situées à l'est et les séries les plus récentes à l'ouest (Figure 41). A grande échelle les terrains du Carbonifère forment une lentille cartographique large de quelques centaines de mètres s'étendant d'Ugine jusqu'à Crest-Voland soit sur une distance de 6 kilomètres. A l'ouest de cette lentille, les terrains du Méso-Cénozoïque sont présents avec un pendage moyen des couches de l'ordre d'une trentaine de degrés. Vers l'est, à partir du secteur de Crest-Voland les valeurs de pendage diminuent rapidement pour devenir subhorizontaux. Cette évolution permet aux terrains Méso-Cénozoïque de recouvrir directement le substrat de micaschistes. A grande échelle les séries décrivent un large antiforme ouvert, déjeté vers l'ouest et de direction NNE-SSW. La charnière de cet anticlinal se situe dans le secteur de Flumet, là où les séries décrivent une terminaison péri-anticlinale.

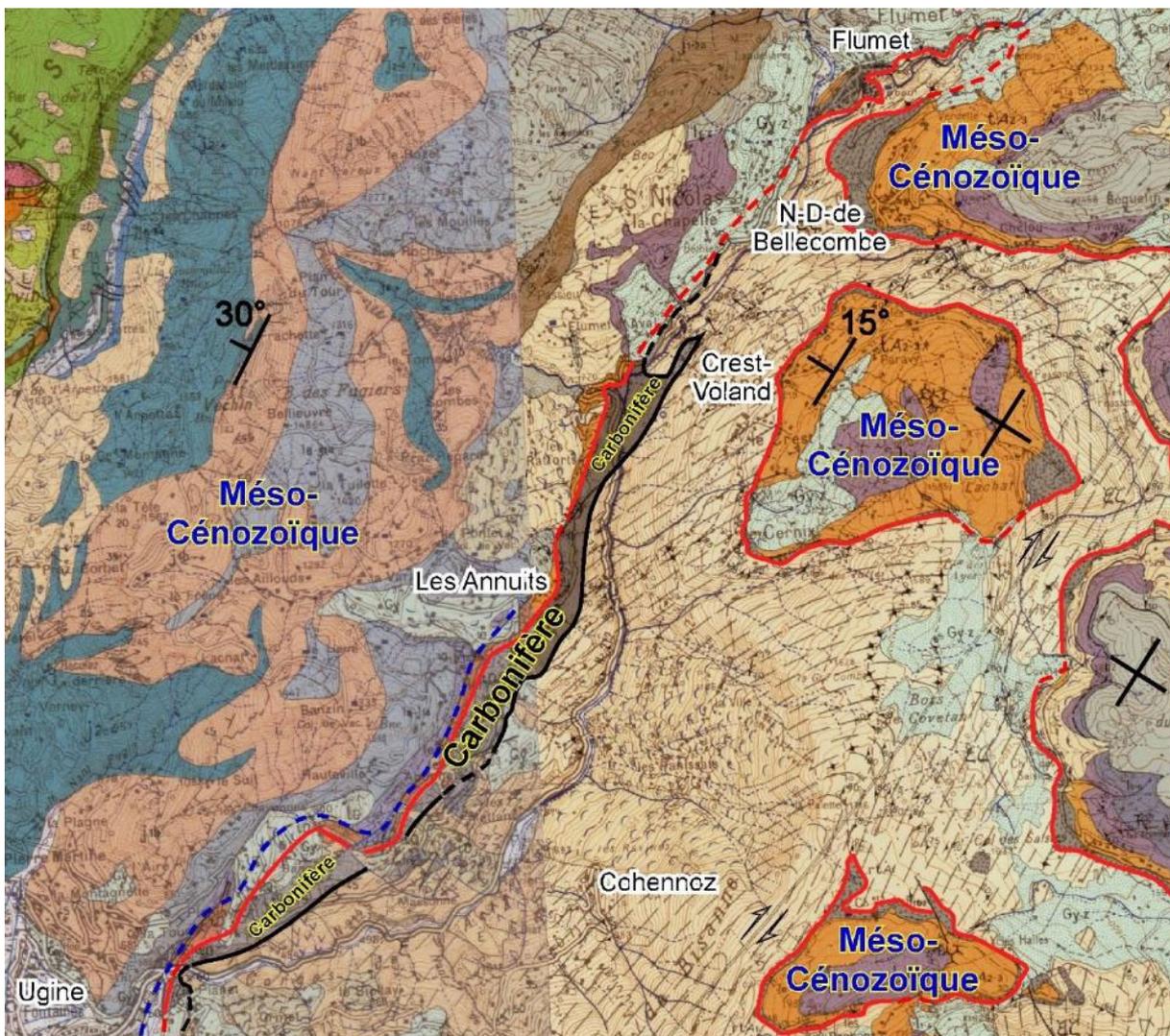


Figure 41 - Extrait des cartes géologiques à 1/50 000 publiées de Saint-Gervais et de Annecy-Ugine centrées sur la zone d'étude. La base des terrains du Carbonifère est surlignée avec un trait noir, La base de la série permo-triasique est surlignée avec un trait rouge. En tiret bleu est surligné le niveau de décollement principal interstratifié entre le Trias et le Lias. Les valeurs de pendage sont données à titre indicatif. Une surcharge hachurée bistre correspond aux trajectoires de schistosité affectant les micaschistes représentés en jaune orangée

Les terrains micaschisteux présentent une schistosité redressée. Les cartes géologiques montrent que les trajectoires de schistosité décrivent une structure plissée située à l'ouest de Cohennoz de direction NNE-SSW reprise par une bande de cisaillement décrochant dextre (voir carte structurale et la carte géologique de Saint-Gervais) correspondant à des déformations hercyniennes.

Les déformations affectant les séries du Mésocénozoïque à l'ouest de la rivière Arly ne seront pas décrites en détail puisqu'elles n'ont aucun lien avec les zones instables étudiées ici. Il est juste à retenir que les déformations alpines sont à l'origine d'intenses déformations et de plissements qui affectent la partie supérieure des séries et que le niveau de décollement principal s'opère au passage entre le Trias et le Lias au niveau des cargneules. Ce niveau de décollement est représenté sur la carte géologique par une ligne en tiretés bleus (Figure 41). La partie inférieure de la série est solidaire de son substrat de ce fait l'étude de la géométrie de ces terrains permet de définir l'effet des déformations d'âge alpin encaissés par les roches du socle.

e) *Structures alpines*

Comme la partie inférieure de la série permo-triasique est solidaire de son substrat, les pendages mesurés dans les bancs situés au sein de celle-ci permettent de fournir une image de la géométrie de la discordance. Une représentation stéréographique en Schmidt inférieur des plans de stratification est proposée. La dispersion des pôles de stratification est relativement faible, tout au plus 40 degrés (Figure 42). L'ensemble des pendages est à pente NW. Leur représentation stéréographique met en évidence leur alignement sur un grand cercle de direction N110 légèrement incliné vers le sud. Ceci permet de calculer un axe de pli (anticlinal) incliné de 5 degrés dans la direction N020.

Mise à part une fracturation intense avec des diaclases bien réglées subverticales, parallèles et perpendiculaires à la direction principale de la vallée (Figure 43), il n'a pas été observé de microstructures permettant de rendre compte d'une structuration particulière des roches du Trias. L'origine des diaclases n'est pas identifiée, elles pourraient résulter de phénomène extensif local associé au plissement des roches comme fentes d'extrados ou à la cinématique tardive de soulèvement de l'arc alpin. Des études plus approfondies de ces structures sont à envisager pour clarifier leur origine.

Les terrains carbonifères affleurent le long d'une bande étroite située au-dessous de la zone de charnière anticlinale. Ils présentent un pendage homogène légèrement plus incliné que les terrains permo-triasique qui les surmontent. Ils sont affectés par des diaclases parallèles à la direction de la vallée (Figure 44).

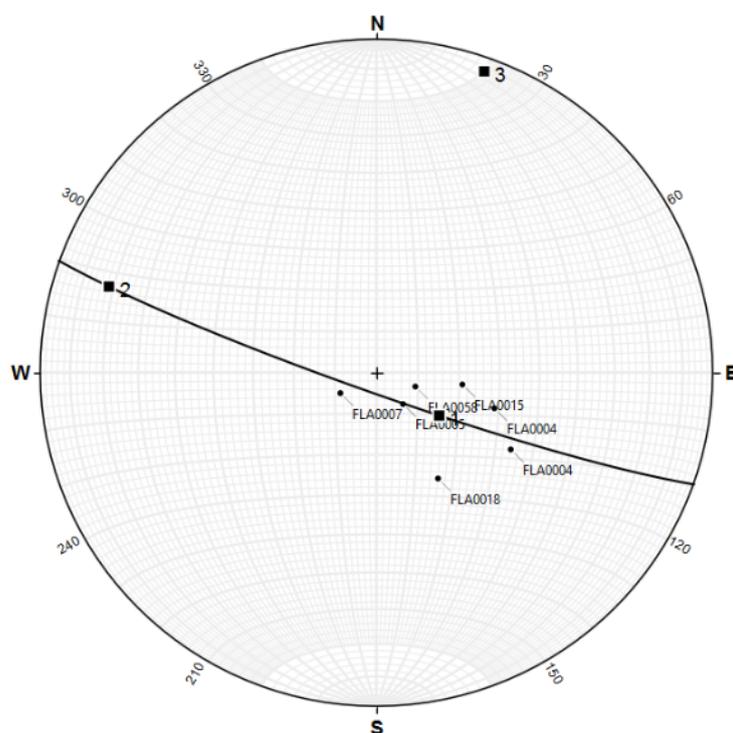


Figure 42 - Représentation stéréographique en Schmidt inférieur des plans de stratification mesurés dans les niveaux du Trias et du Permien de la zone d'étude



Figure 43 - Affleurement de grès Permien contenant des graviers de quartz roses et affecté par des diaclases verticales conjuguées de direction, secteur situé sur la rive gauche de l'Arly, dans la montée depuis Flumet vers Notre-Dame de Bellecombe



Figure 44 – série grés-pélique du Carbonifère affectée par des diaclases perpendiculaires aux plans de stratification et parallèles à la direction de la vallée de l'Arly

L'ensemble des données caractérisant les couvertures du Carbonifère et du Permo-Trias est représenté en 3 dimensions à partir des données d'affleurements récoltés ainsi que des contours de la carte géologique dans l'outil GeoModelleur© (Figure 45).

La surface calculée montre une faible courbure anticlinale dont la charnière passe à peu près au niveau de la vallée actuelle de l'Arly. Cette surface montre également le plongement de la structure vers le Nord. Dans la partie sud de la zone d'étude, la discordance passe juste au-dessus de la crête topographique située au sud-ouest du Mont Bisanne, elle plonge ensuite vers la vallée lorsque l'Arly est rejointe par la rivière la Chaise. Cette caractéristique se retrouve également au niveau du plateau des Saisies entre le Mont Bisanne et le village de Crest-Voland. La plupart du temps la couverture est érodée et la surface topographique se dessine dans les premiers mètres des micaschistes sous la discordance, c'est-à-dire dans la partie des micaschistes altérés (voir le chapitre altération). Il est fort possible que cette partie des micaschistes soit plus sensible à l'érosion que les roches plus profondes et forcément moins affectées par l'altération anté Permo-Trias.

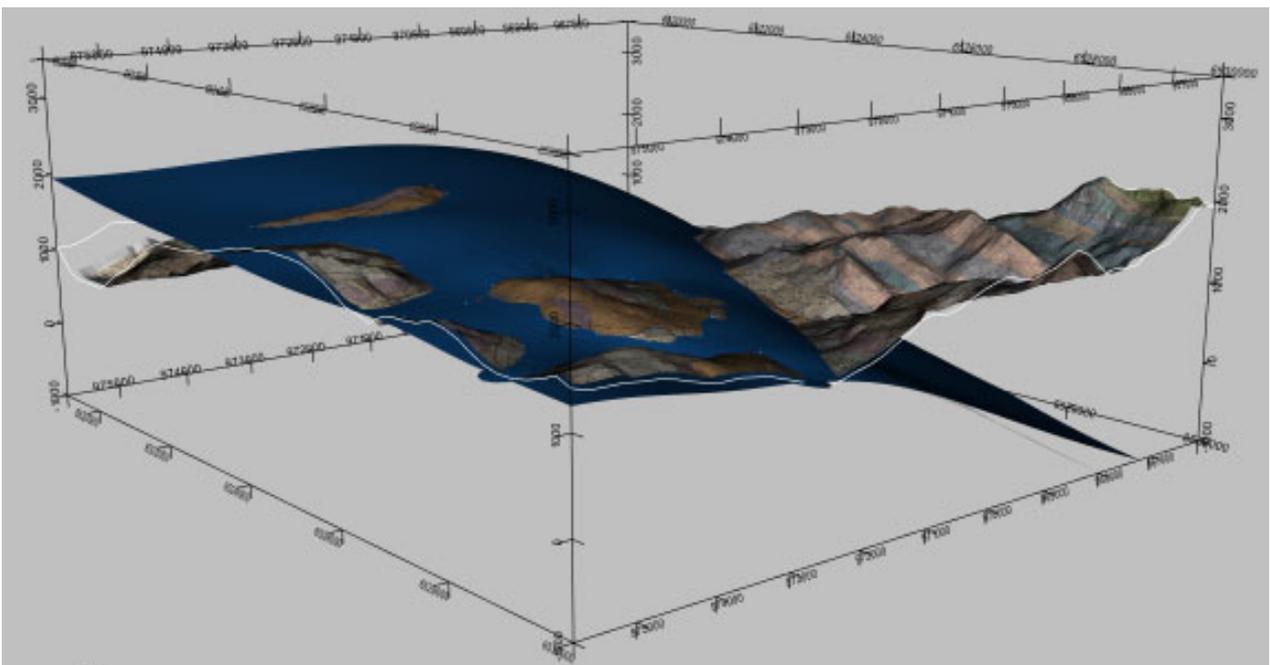
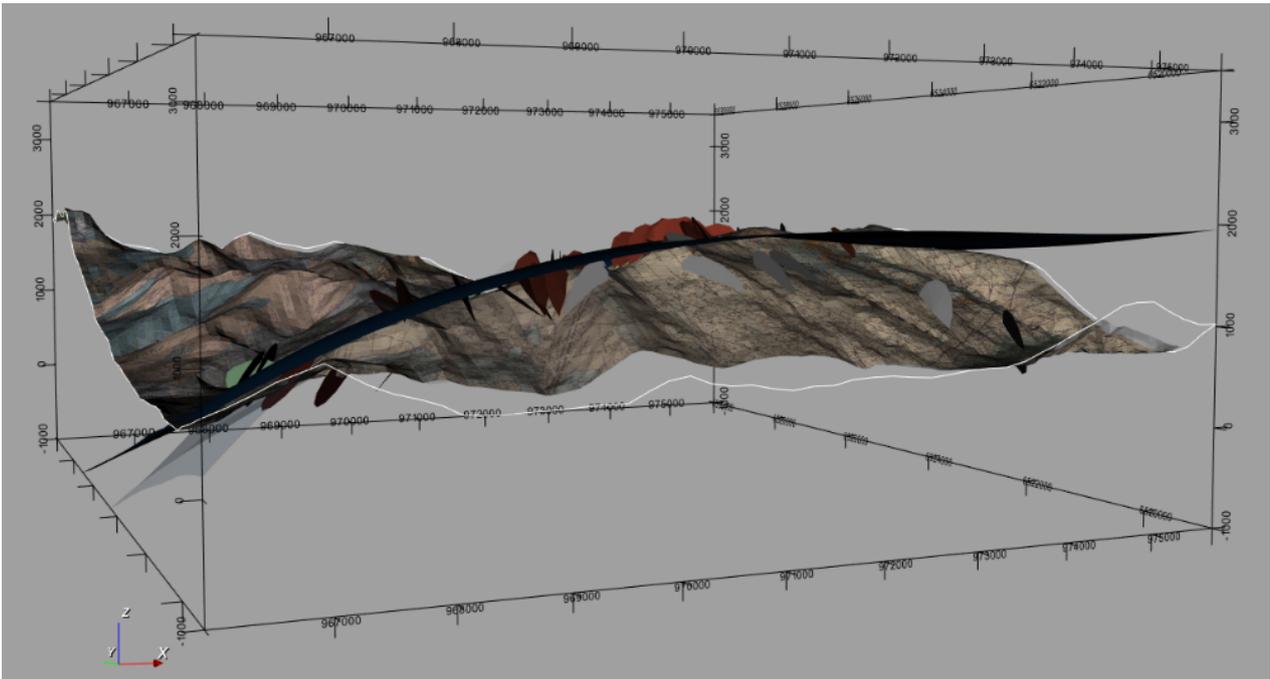


Figure 45 - Blocs diagrammes 3D représentant l'enveloppe de la discordance du Permo-Trias reportée sur la carte géologique en 3 dimensions. En haut vue depuis le sud-ouest, en bas, vue depuis le nord-est

*f) Structures hercyniennes*

Sous la discordance, les terrains micaschisteux présentent un débit schisteux développé (Figure 46). Les déformations qui ont structuré cette unité marque un aplatissement généralisé d'une série sédimentaire profondément remaniée lors de la tectogenèse hercynienne.



Figure 46 - Plis synschisteux isoclinaux affectant les micaschistes

Plusieurs dizaines de mesures de plans de schistosité ont été récoltées au sein de la zone d'étude, et sont reportées sur une représentation stéréographique. Le stéréogramme montre une forte dispersion des mesures selon une direction NW-SE (Figure 47). Cela témoigne d'une déformation postérieure à la mise en place de l'aplatissement généralisé qui a généré la schistosité.

Le calcul du pôle du grand cercle passant par l'ensemble des points de mesure indique un axe de pli quasi horizontal (incliné vers le sud 04 degrés) dans la direction N220. Il y a une forte dispersion des plans de schistosité que l'on tentera d'expliquer dans les paragraphes suivants. On peut déjà en conclure qu'à grande échelle, l'unité des micaschistes présente des variations de la direction des plans de schistosité liées à une déformation plicative post schisteuse. Au sein de la zone d'étude il sera important d'identifier l'échelle de ces déformations plicatives. A l'affleurement, plusieurs sites mettent en évidence une schistosité déformée avec des plis d'échelle centimétrique à métrique (Figure 48). Une représentation stéréographique des mesures effectuées sur trois plis post-schisteux observés au cours des visites de terrain est reportée en Figure 49. Les axes de plis calculés sont inclinés vers le sud et sud-ouest avec une dispersion importante. La déformation post-schisteuse n'est donc pas strictement cylindrique. Liée à une compression NW-SE, elle doit être accompagnée d'une composante décrochante à l'origine de la dispersion des plis mesurés, ce qui est également à l'origine de celle des plans de schistosité mesurés et vus en Figure 47.

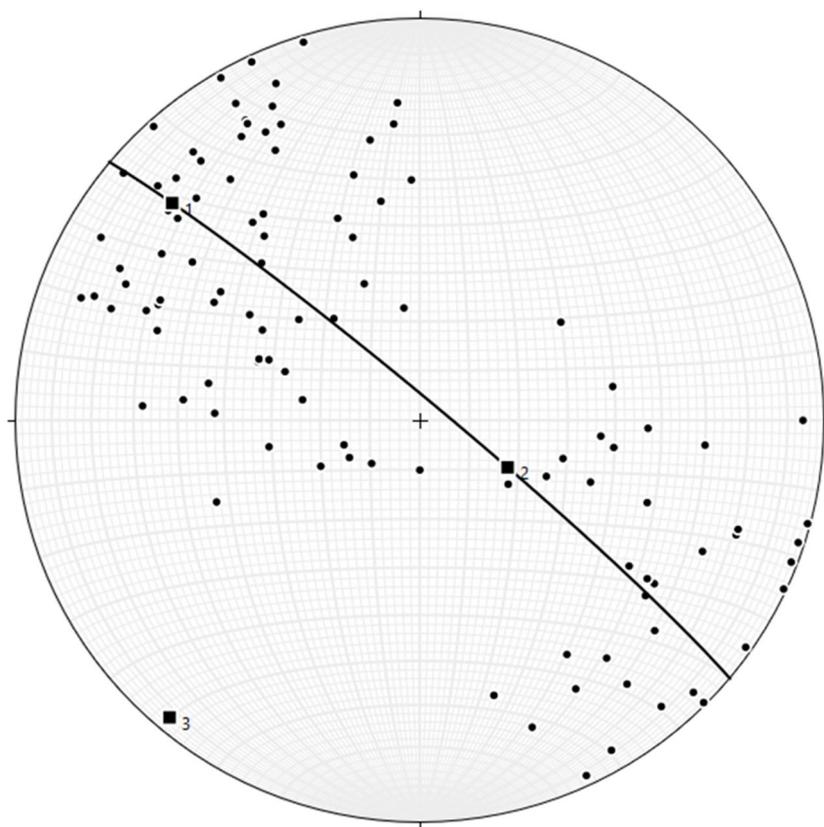


Figure 47 - Représentation stéréographique des plans de schistosité en Schmidt inférieure



Figure 48 - Pli synforme post schisteux de plan axial vertical et d'axe horizontal dans les micaschistes

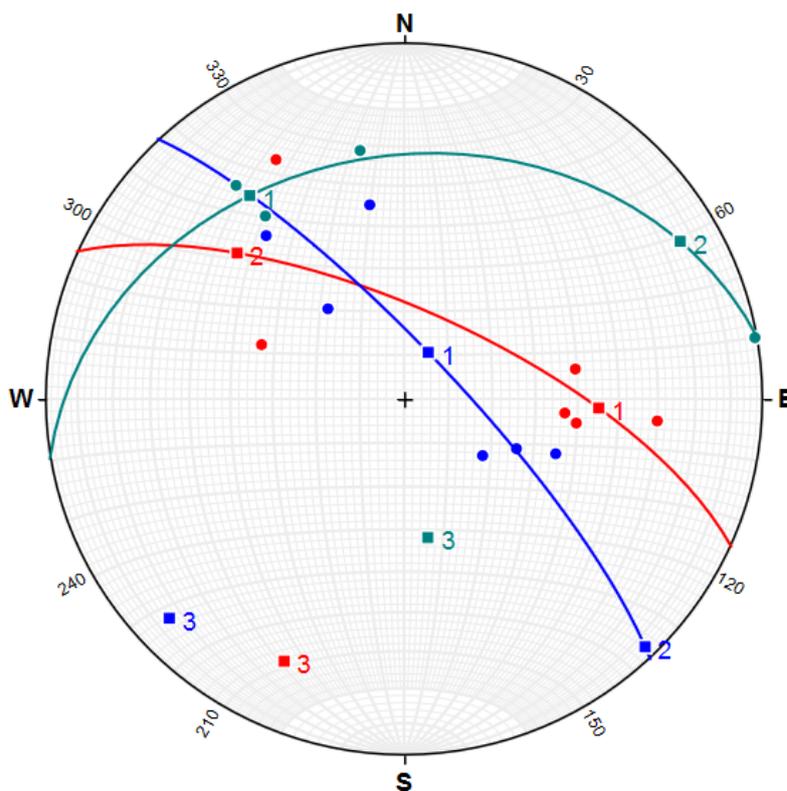


Figure 49 - Représentation stéréographique des mesures de schistosité plissée repérées au niveau des affleurements FLA0002 (en bleu), FLA0003 (en rouge) et FLA0058 (en vert). Les axes de plis calculés sont inclinés vers le sud et le sud-ouest (carrés avec les indices 3)

Ces déformations n'affectent pas la couverture, elles sont donc antérieures au dépôt du Carbonifère et postérieures à la mise en place des dépôts qu'elles déforment, soit hercynienne.

Au vue de la complexité du massif et de la forte variabilité d'orientation et de pendage des plans de schistosité, une représentation 3D est réalisée sous GeoModeller© afin de pouvoir illustrer la géométrie en grand de l'objet et de ses variations.

Les données utilisées pour représenter la schistosité sont reportées dans le bloc 3D (Figure 50). On notera que la répartition géographique des données d'orientation n'est pas homogène, cela est dû au fait que le secteur de Cohennoz est affecté d'un grand nombre de mouvements de versant modifiant les orientations et valeurs de pendage. Les observations réalisées dans ce secteur ne sont donc pas intégrées au calcul des trajectoires de schistosité. Il n'y a pas de niveau repère particulier au sein des micaschistes, on va cependant identifier des points de passage artificiels qui représenteront l'enveloppe de ce que serait un plan particulier s'il existait. Afin de bien imaginer la forme des trajectoires, il a été choisi de placer 6 points de passages qui permettront de calculer 6 surfaces. La Figure 51 reprend les disques représentant les mesures d'orientation de la schistosité, la surface topographique est ôtée pour faciliter la vision des trajectoires de schistosité.

Les 6 surfaces calculées décrivent un pli antiforme d'échelle kilométrique orienté NE-SW, cohérent avec les directions calculées sur stéréogramme (Figure 47). Le pli a une surface axiale redressée avec une

inclinaison vers le SE et donc un léger déversement vers le NW de la structure. Vers le nord-ouest, la structure plonge vers le nord-est.

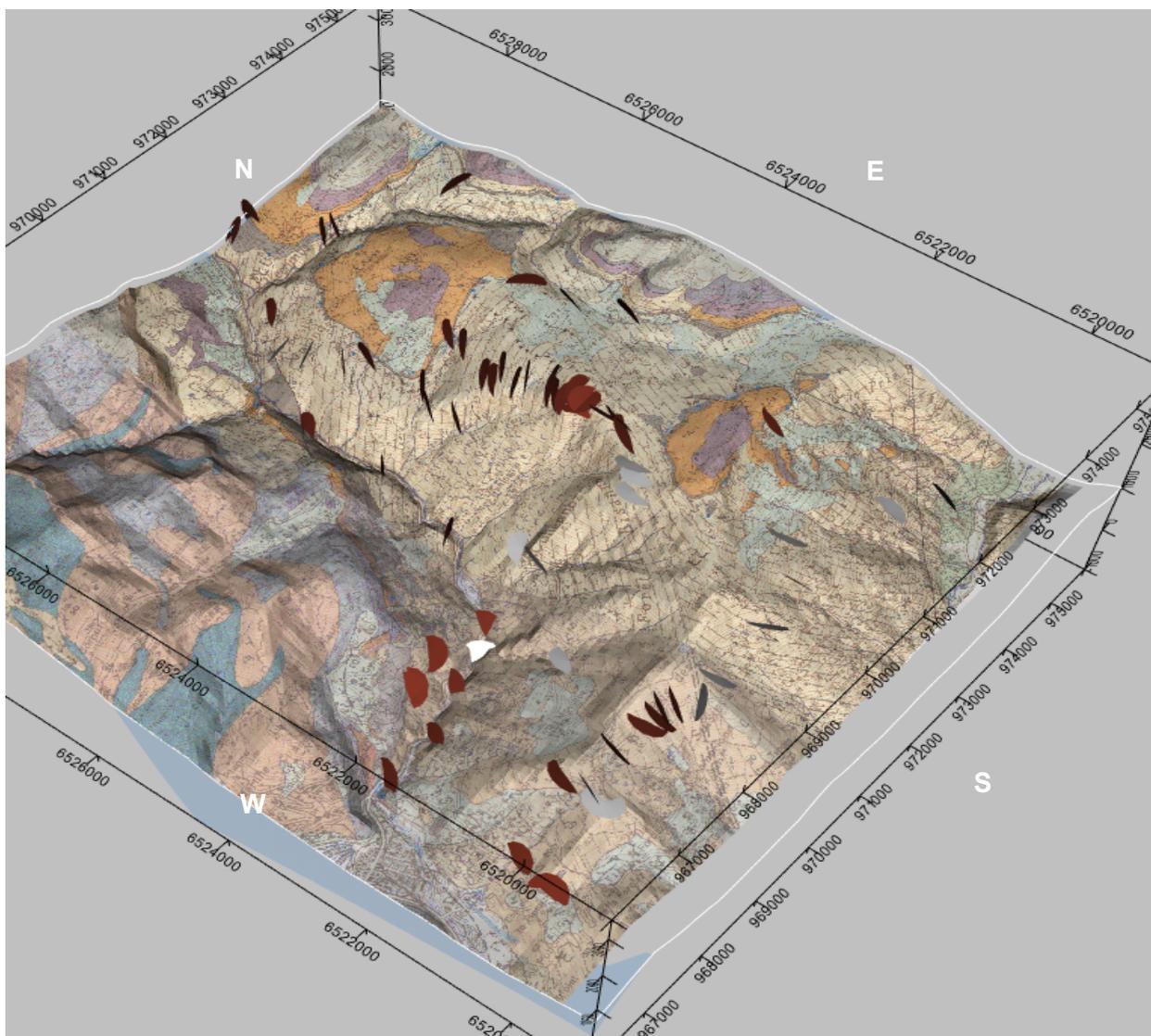
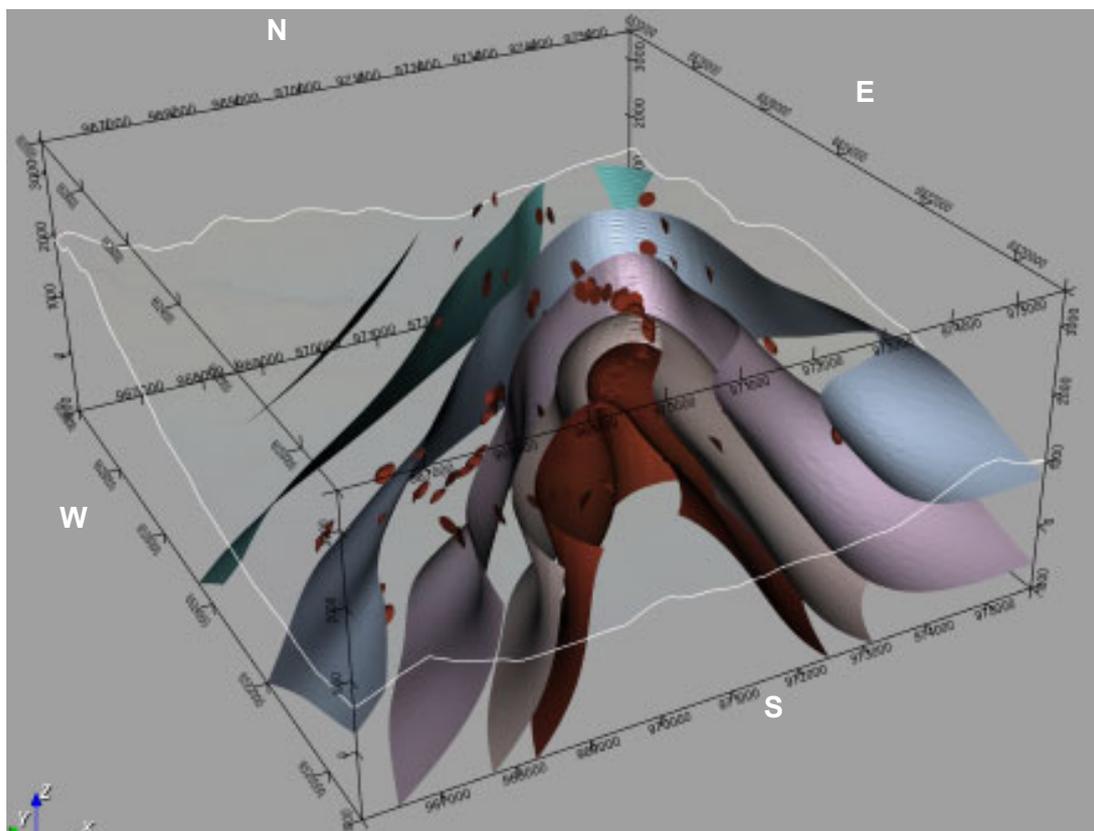


Figure 50 – Bloc 3D réalisé dans GeoModeller©. La carte géologique est représentée en 3 dimensions sur laquelle sont reportées les données ponctuelles sous la forme de petits disques permettant d'illustrer la direction du plan et son pendage

Plusieurs représentations du secteur sont produites afin d'apporter une vision 3D de la zone d'étude (Figure 52 et Figure 53). Le modèle 3D rend compte, de manière objective et particulièrement judicieuse, de la complexité de la zone d'étude. A partir de celui-ci et sans pour autant avoir la possibilité d'observer directement les roches en place sur l'intégralité de la zone d'étude et notamment dans les zones où s'opèrent les glissements. Il est cependant possible de définir une zone antiforme, de direction NW-SE qui se situe dans la pente à une centaine de mètres au NW du Mont Bisanne. Au sud-est de cet antiforme la schistosité est plus faiblement inclinée vers le sud-est que sur l'autre flanc de la structure majeure. Sur le flanc du nord-ouest de l'antiforme, la schistosité s'inverse dans la partie supérieure du flanc (pendage vers le sud-est) pour ensuite de nouveau s'infléchir, se verticaliser et enfin reprendre un pendage vers le nord-ouest et commencer à dessiner une synforme. Ainsi dans la majeure partie du secteur de Cohennoz la schistosité est subverticale (supérieure à 80°) (Figure 51, Figure 52, Figure 53 et Figure 54). C'est

également le cas sur la rive opposée où une partie versant face à la commune de Cohennoz présente les mêmes caractéristiques.



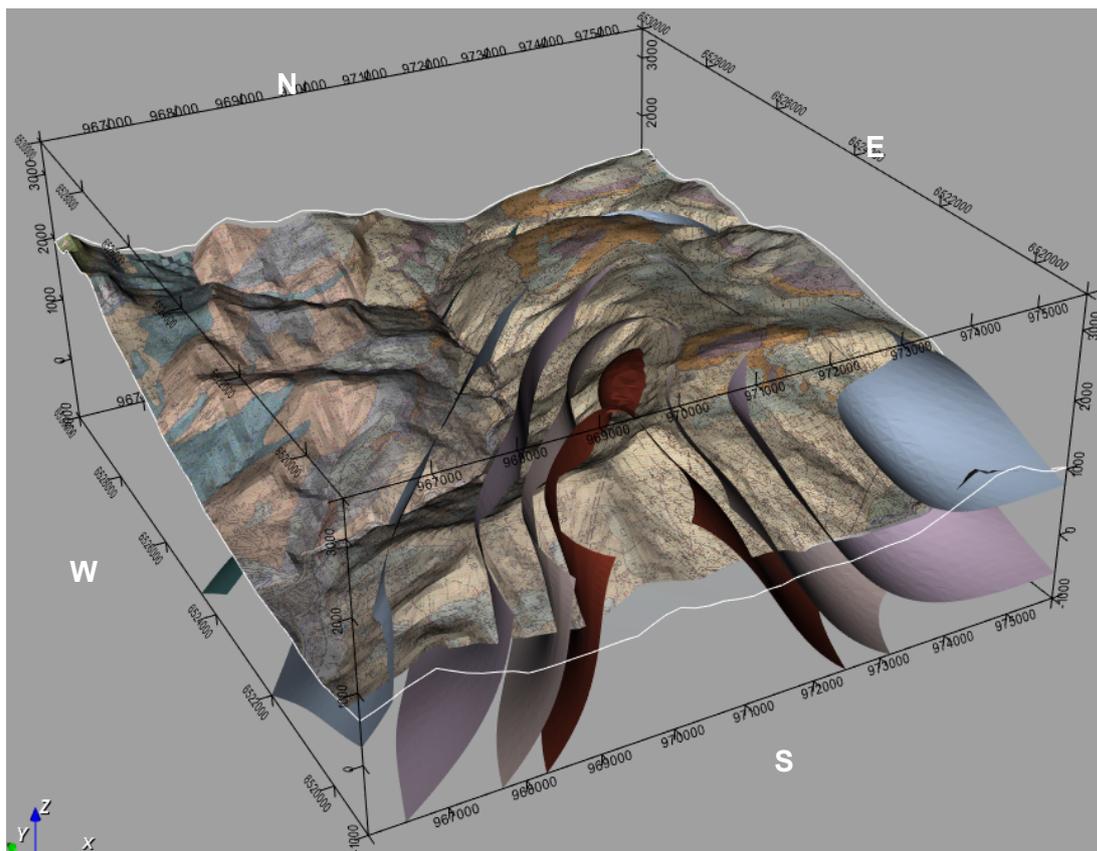


Figure 51 – Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© représentant les trajectoires de schistosité vu depuis le sud-Ouest, représentation sans fond en haut et avec la carte géologique en bas

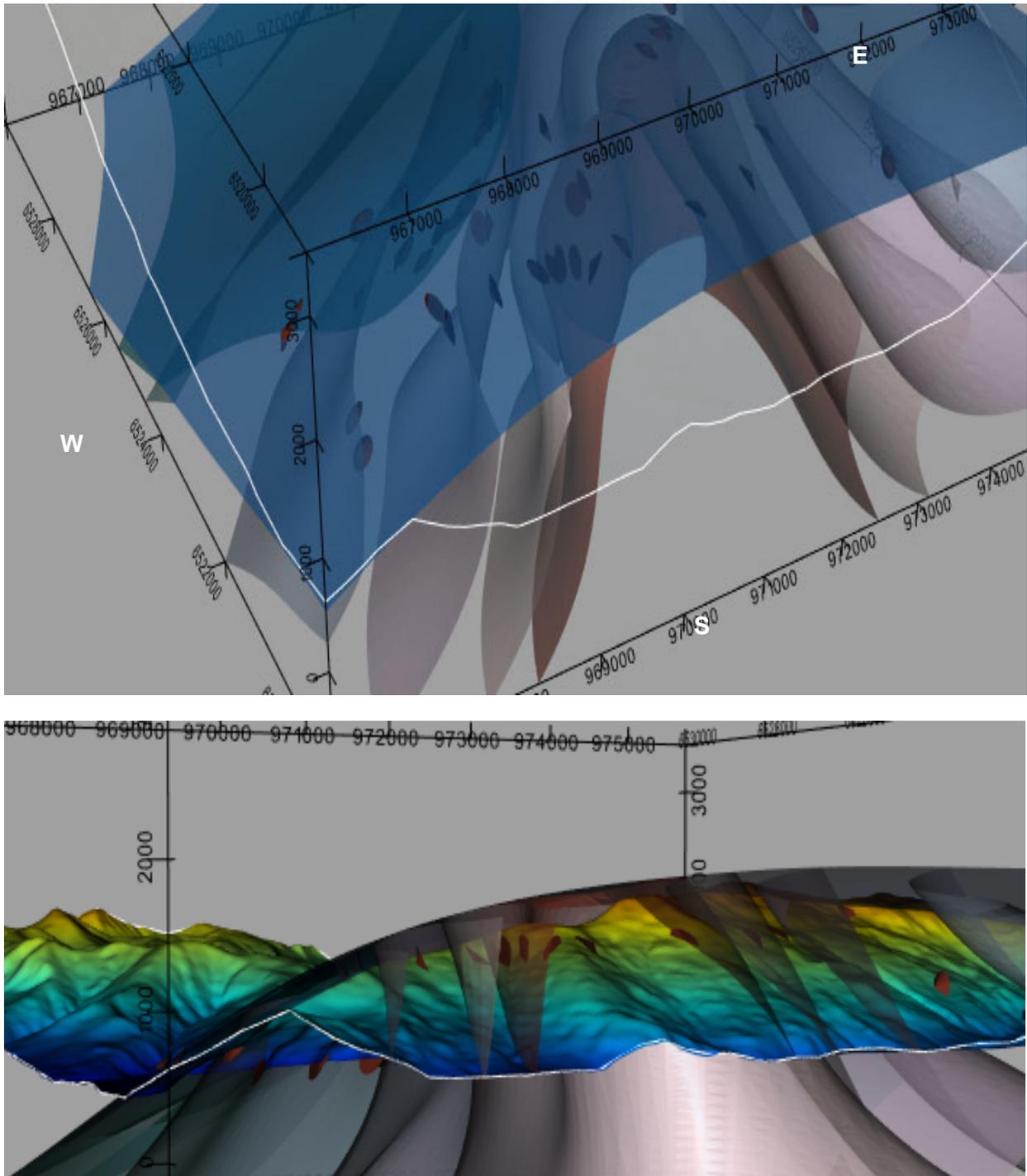


Figure 52 - Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© intégrant la surface érosive de la base du Permo-Trias et du Carbonifère et les trajectoires de schistosité dans les micaschistes, vue depuis le sud-est en vue de 4 (bloc du haut) vue depuis le sud-est à l'horizontale avec un fond topographique MNT

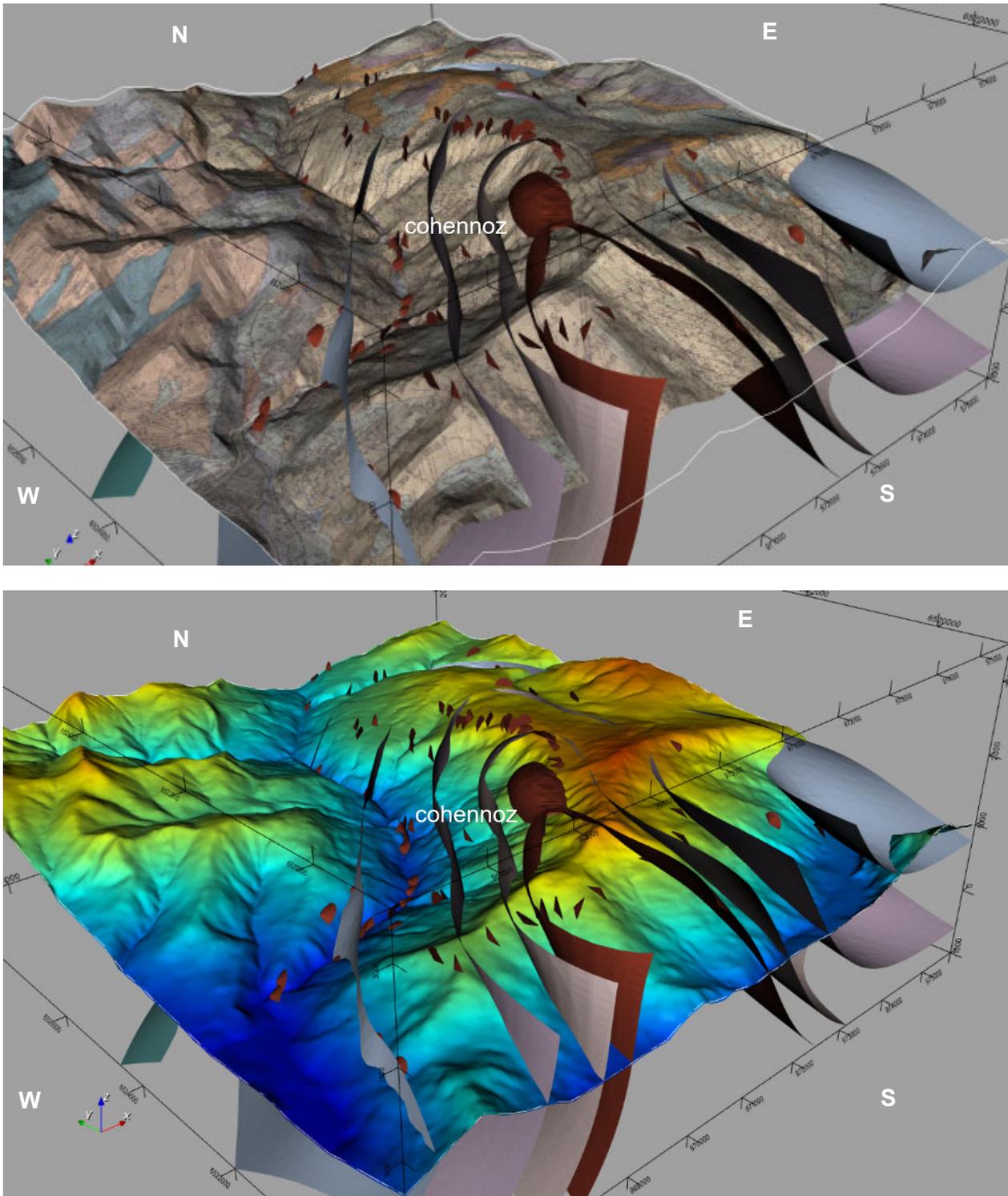


Figure 53 - Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© intégrant la surface érosive de la base du Permo-Trias et du Carbonifère et les trajectoires de schistosité dans les micaschistes tronqués reportés sur la carte géologique (bloc du haut) et sur un MNT colorisé (boc du bas)

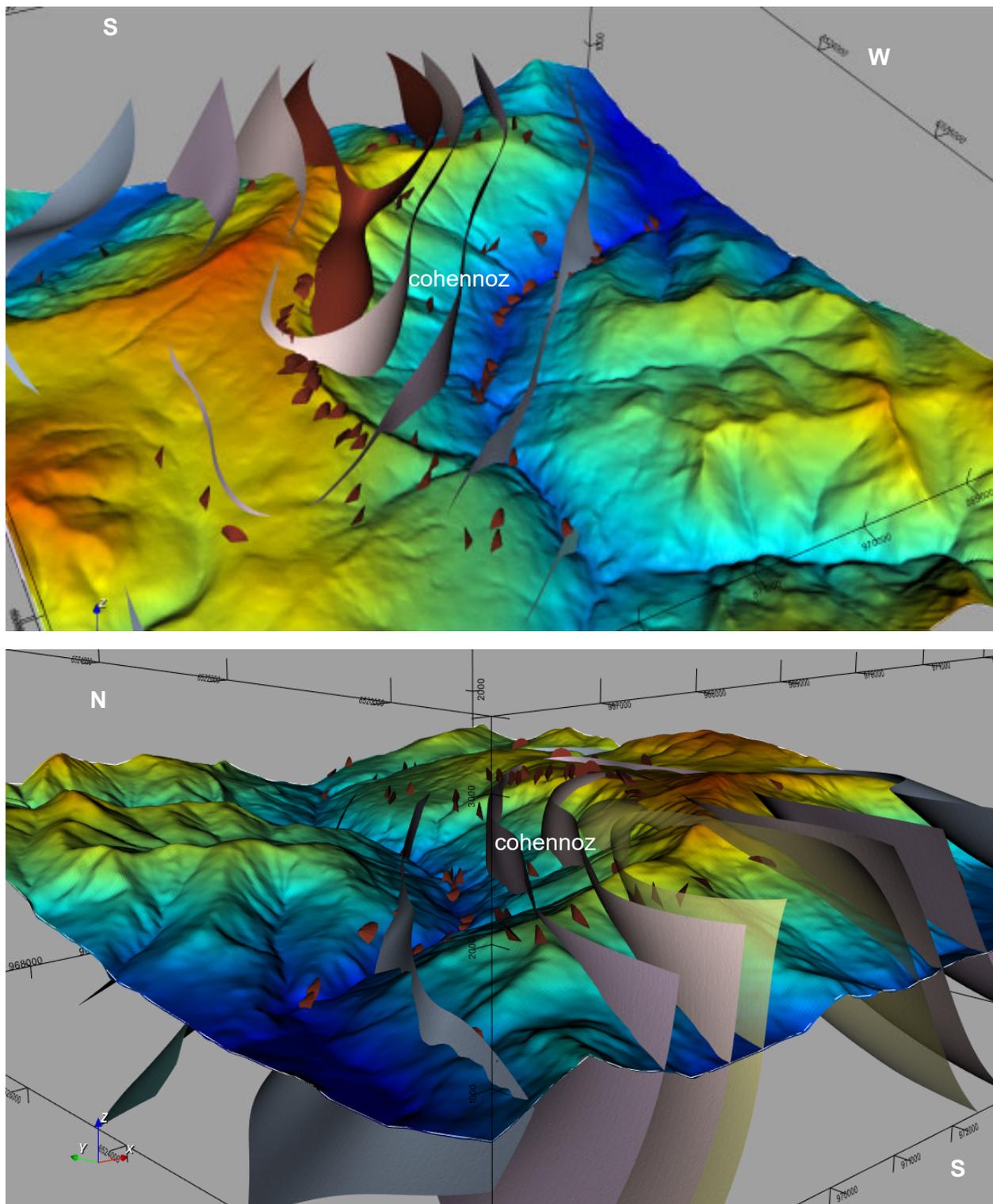


Figure 54 - Bloc diagramme 3D réalisé avec GeoModeller© intégrant la surface érosive de la base du Permo-Trias et du Carbonifère et les trajectoires de schistosité dans les micaschistes tronqués reportés sur le MNT vue depuis le nord-est en haut et du sud-ouest en bas

## 2.4. Evolution de la géométrie de la vallée de l'Arly

Les paysages traversés par la rivière Arly résultent d'une histoire récente forgée par les variations climatiques du Quaternaire et notamment les alternances entre les périodes glaciaires et interglaciaires. Les périodes glaciaires sont les périodes d'installations de glaciers épais de plusieurs milliers de mètres à l'origine de la formation d'un relief particulier marqué par des vallées à fond plats et versants doux menant à des reliefs accidentés. Ces vallées dites en U sont tapissées de dépôts morainiques correspondant aux matériaux prélevés et transportés par les glaces. A la fin de la période glaciaire la fonte des glaces libère d'importants volumes d'eau mobile dont la puissance érosive permet l'évacuation des matériaux meubles ainsi que l'incision des roches du substrat. Au cours d'un intervalle interglaciaire, la végétation se développe et envahie les pentes, les torrents charrient les matériaux meubles vers les drains fluviaux pour remplir les vallées avec des alluvions grossières.

Dans le cadre de l'Arly, les paysages depuis la source de la rivière vers l'aval varient et présentent des caractéristiques peu communes. En effet, si l'on compare la vallée de l'Arly à des vallées traversant les mêmes terrains, sur une longueur identique (Isère et Arc) on remarque que la vallée de l'Arly présente une pente très forte jusqu'à ce qu'elle rejoigne Ugine (Figure 55). Une fois arrivée à Ugine elle acquiert la même pente que les autres vallées. Le long de son parcours, depuis l'amont vers l'aval, la géométrie de la vallée évolue (Figure 56). Dans un premier tronçon depuis Megève jusqu'à Flumet, la vallée est large à fond plat et la rivière s'écoule selon l'axe principal de la vallée glaciaire, ici NE-SW (coupes 1 à 7 Figure 56 et Figure 57). Les versants et le fond de la vallée sont tapissés des dépôts morainiques et des alluvions. A partir de Flumet la géométrie de la vallée change profondément avec une incision profonde. La topographie douce d'origine glaciaire est entaillée par un canyon étroit et dont la profondeur atteint plusieurs dizaines de mètres. Le fond de la vallée contient très peu d'alluvions, essentiellement torrentiels. Cette géométrie s'observe jusqu'en amont du secteur d'Hery (coupe 8 à 12 Figure 56 et Figure 58), puis change jusqu'à Ugine. Dans ce troisième tronçon, la vallée s'élargie pour prendre une forme de V (coupes 13 à 18 Figure 56) dont la largeur du fond varie et présentent des alluvions torrentielles épaisses (Figure 59). Au niveau d'Ugine la vallée s'élargie et reprend une géométrie de vallée glaciaire typique en U (coupes 19 Figure 56 et Figure 60).

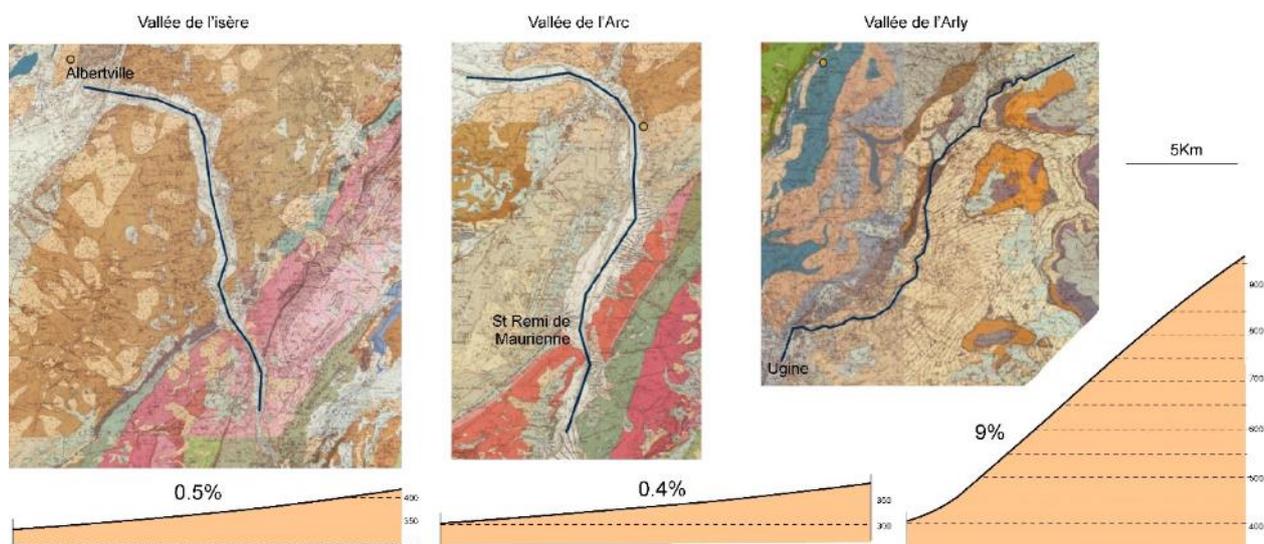


Figure 55 – Comparaison entre les profils longitudinaux des vallées de l'Arly en amont d'Ugine et de l'Isère et de l'Arc avec indication de la pente moyenne en pourcentage

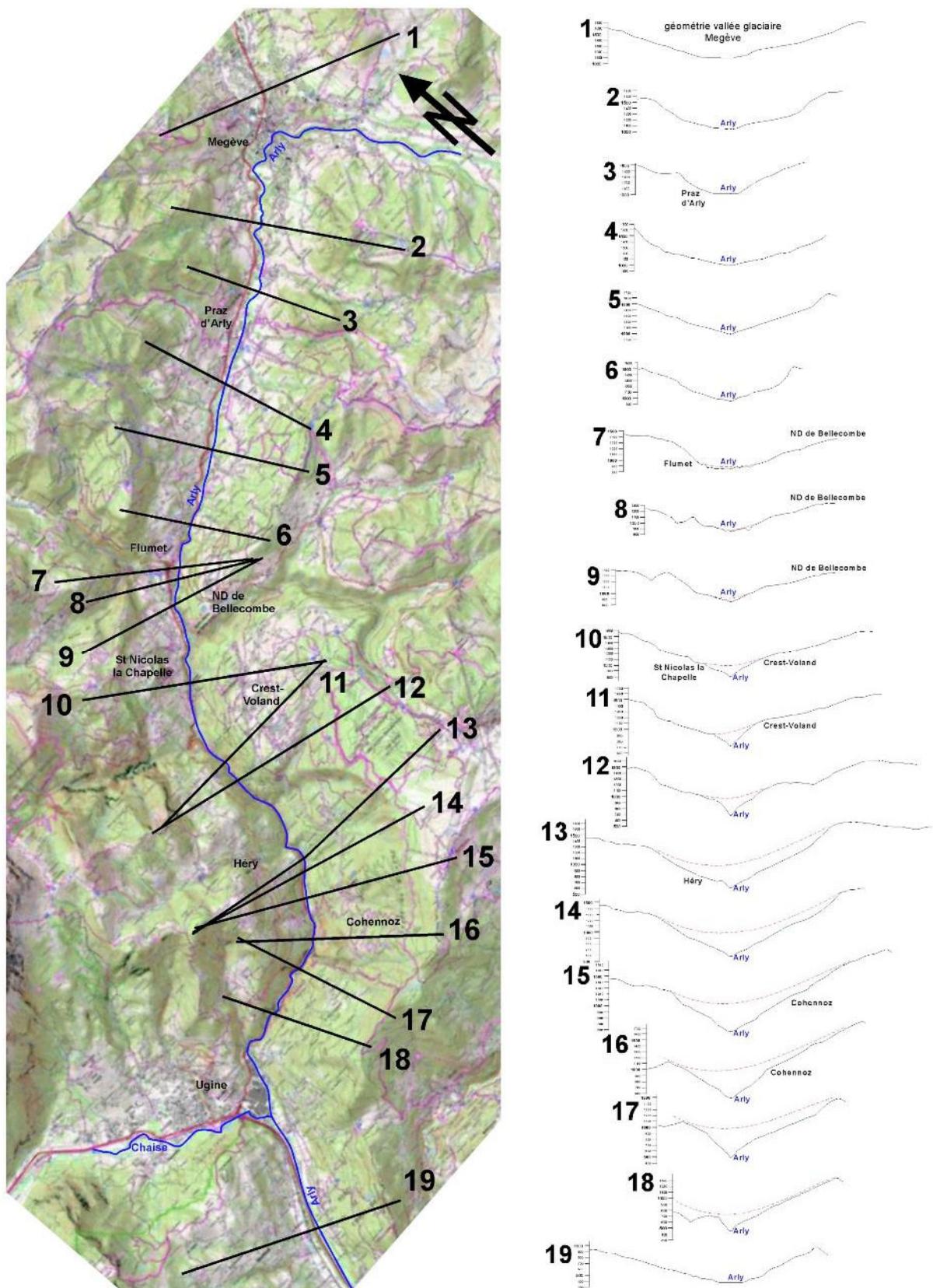


Figure 56 – Position et coupes topographiques le long de la vallée de l'Arly depuis Megève à Ugine et habillage d'une géométrie anté-creusement probable de la vallée en pointillées rouge



Figure 57 - Vue depuis les hauteurs de Flumet vers le nord de la vallée de l'Arly

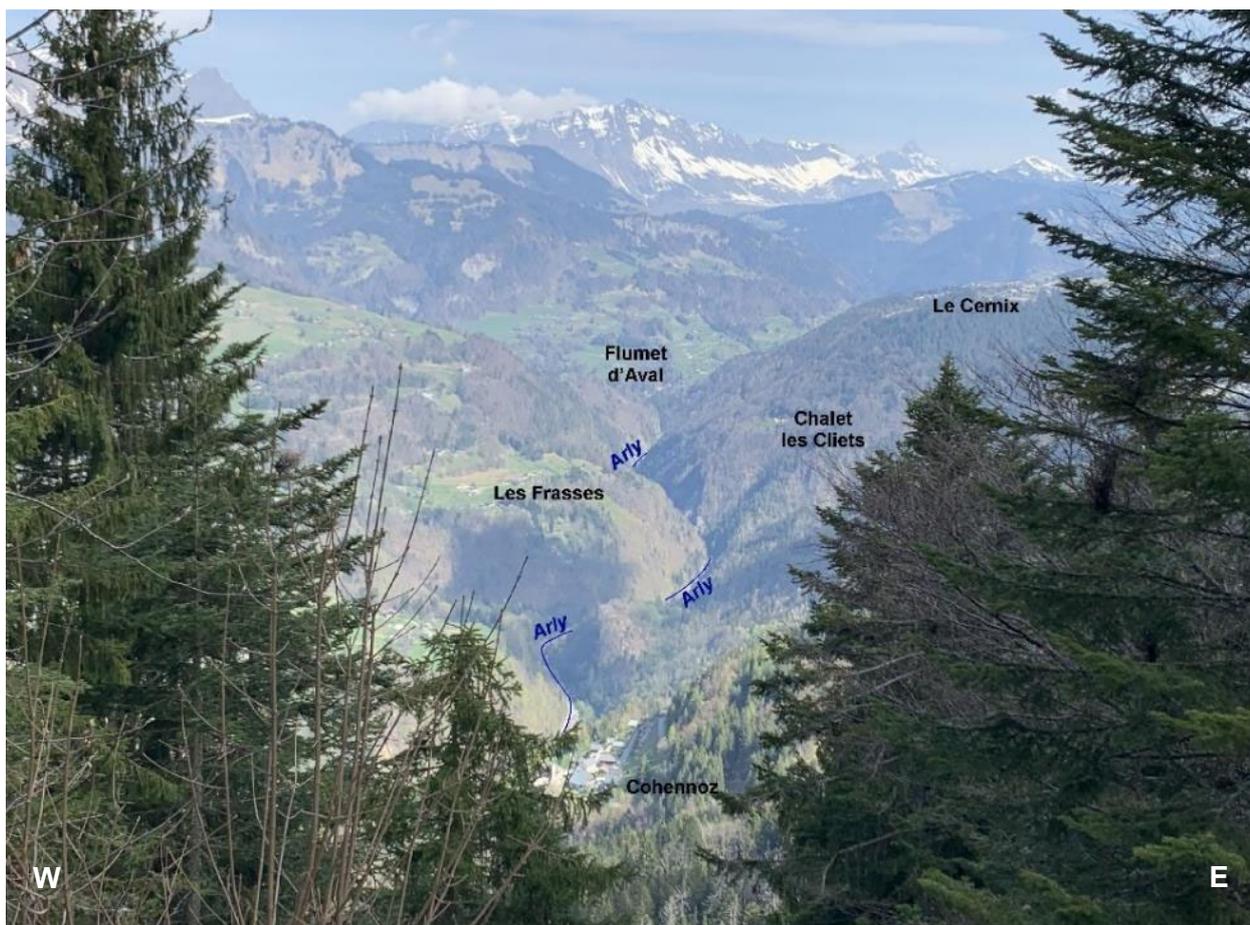


Figure 58 – Vue depuis les hauteurs de Cohennoz vers le nord de la vallée de l'Arly



Figure 59 - Vue de la vallée de l'Arly vers le Sud depuis le fond de vallée au pied du versant des Panissats

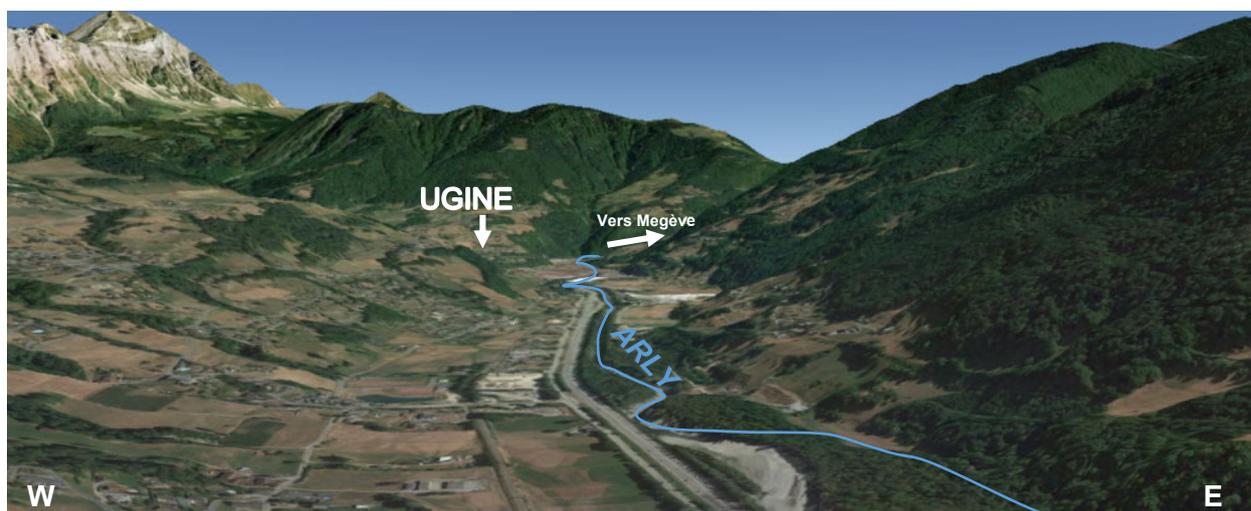


Figure 60 – Vallée de l'Arly au sud d'Ugine, d'après Google Earth

Précédemment, il a été mis en évidence le fait que la pente de la vallée est bien supérieure à celles de vallées équivalentes (Figure 55). Une coupe longitudinale détaillée du fond de la vallée de l'Arly depuis le secteur de Megève à Ugine permet d'illustrer les variations topographiques dans le détail (Figure 61). Un profil topographique lissé, représenté sur la coupe par une courbe en pointillés rouge est dessiné afin d'identifier les irrégularités par rapport à la moyenne. Entre Flumet et Ugine deux secteurs s'identifient, ils correspondent au tronçon N°2 et N°3 définis précédemment. La partie haute est marquée par une topographie plus basse que celle attendue témoignant de l'incision de la rivière, elle correspond au tronçon N°2 avec le canyon. La partie basse correspond au tronçon N°3, le fond de la vallée est au-dessus de la courbe lissée avec des altitudes supérieures d'une trentaine de mètres à ce qui serait attendu, c'est à ce niveau que les versants de la vallée sont affectés par les glissements de terrain.

Caractéristiques géologiques des sites d'études du Guil (commune d'Aiguilles) et de l'Arly (commune de Cohennoz), Alpes - projet Miroir

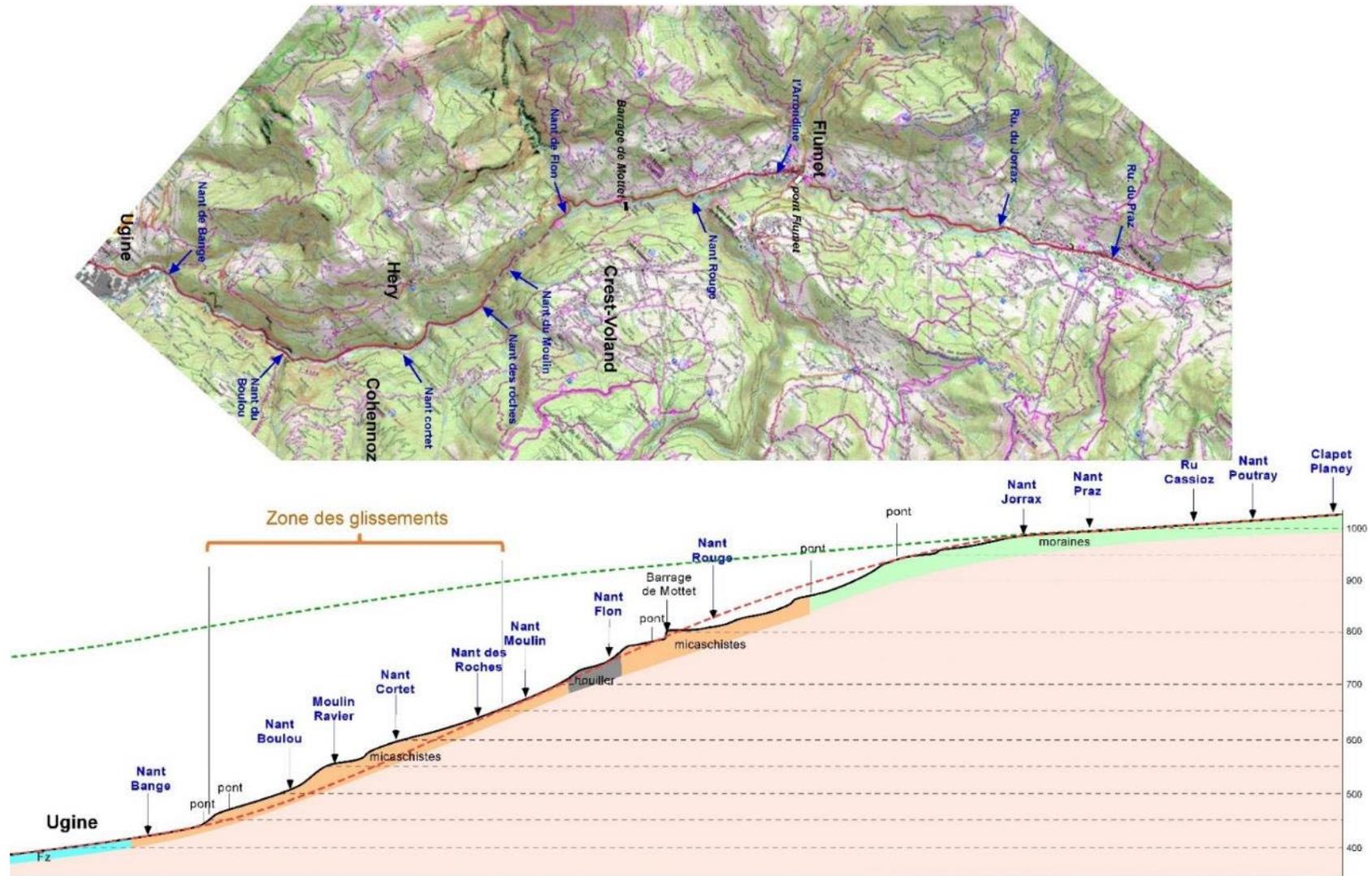


Figure 61 – Profil en long de la vallée de l'Arly depuis Praz-sur-Arly à UGINE et localisation des principaux branchements de vallées secondaires et identification de la nature des terrains traversés, localisation de la zone de glissements de Cohennoz. La ligne en tirets rouges correspond au profil lissé du fond de la vallée, la ligne en tirets verts à la pente théorique si on avait une vallée glaciaire « normale ». Sous la surface topographique sont indiqués les différents faciès de roches sur lesquels s'écoule la rivière Arly

Au sud, au niveau d'Ugine, la vallée devient large à fond plat et l'Arly rejoint la Chaise (Figure 62). A cet endroit, on retrouve une vallée glaciaire remodelée sur ses versants avec les incisions postglaciaires. En Figure 62, une reconstitution de la géométrie de la vallée est proposée à partir des facettes glaciaires résiduelles. En amont d'Ugine, l'Arly était absente lors de la formation de la vallée glaciaire. La partie aval de l'Arly et la Chaise ne faisaient qu'un seul cours d'eau. Le creusement de l'Arly amont est intervenu postérieurement. Ainsi, le glacier qui devait exister de Flumet à Megève devait être connecté vers une autre vallée glaciaire (vallée glaciaire de l'Isère. Putz, 1934), sûrement vers le nord. Sur la Figure 63, une proposition de chronologie relative d'évolution géomorphologique associée au creusement de la vallée Arly en amont d'Ugine est proposée. Elle suggère un premier creusement par un glacier de petite taille perché puis une incision plus marquée permettant la formation d'une vallée étroite aux versants abrupts. Sur les coupes transversales réalisées depuis Megève jusqu'à Ugine (coupes 7 à 18 Figure 56), une proposition de reconstitution de la topographie des fonds de vallées avant l'incision est dessinée en tirets rouges sur chaque coupe.

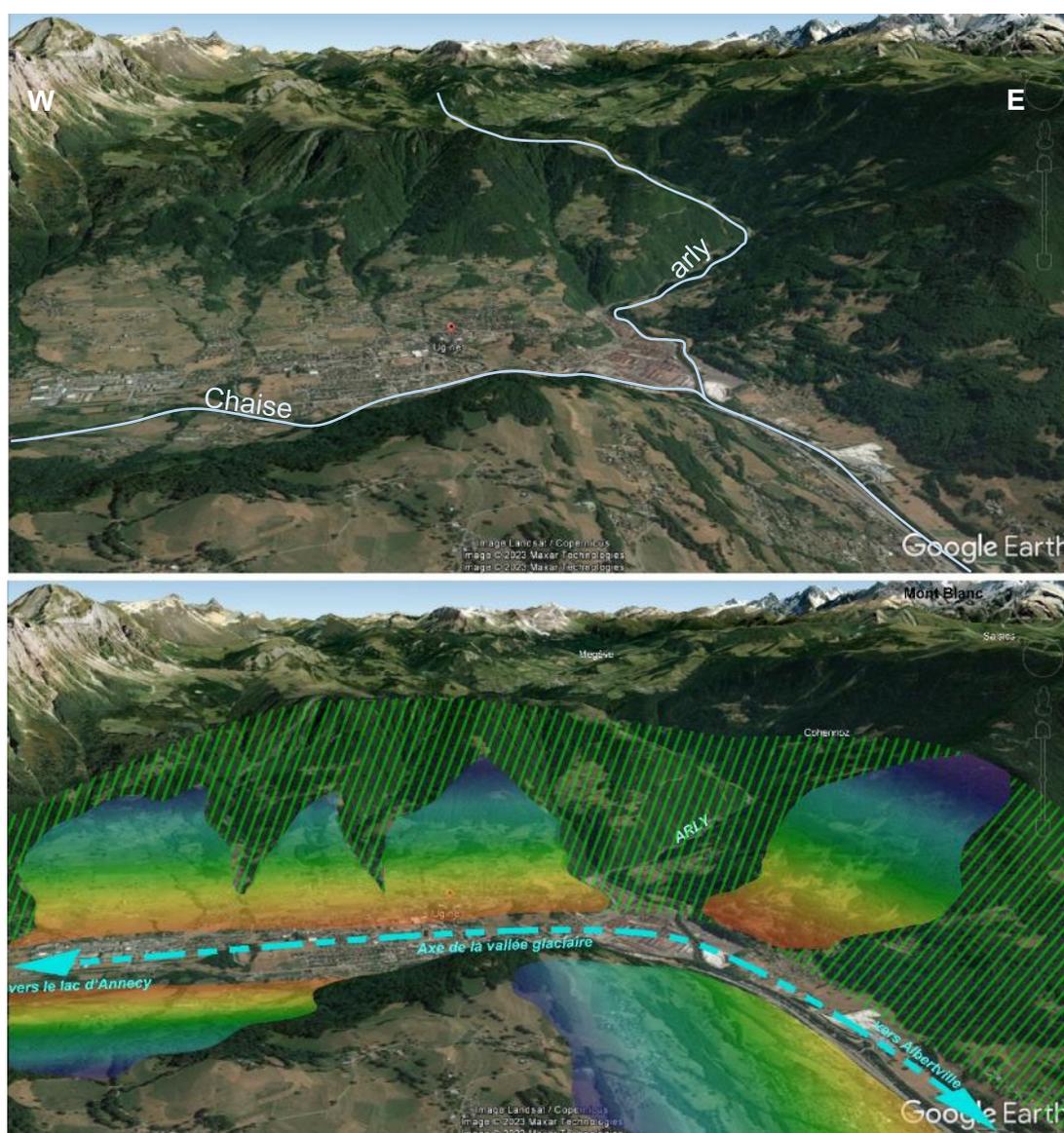


Figure 62 - Géométrie de la vallée glaciaire avant érosion post-glaciaire et capture de la rivière Arly

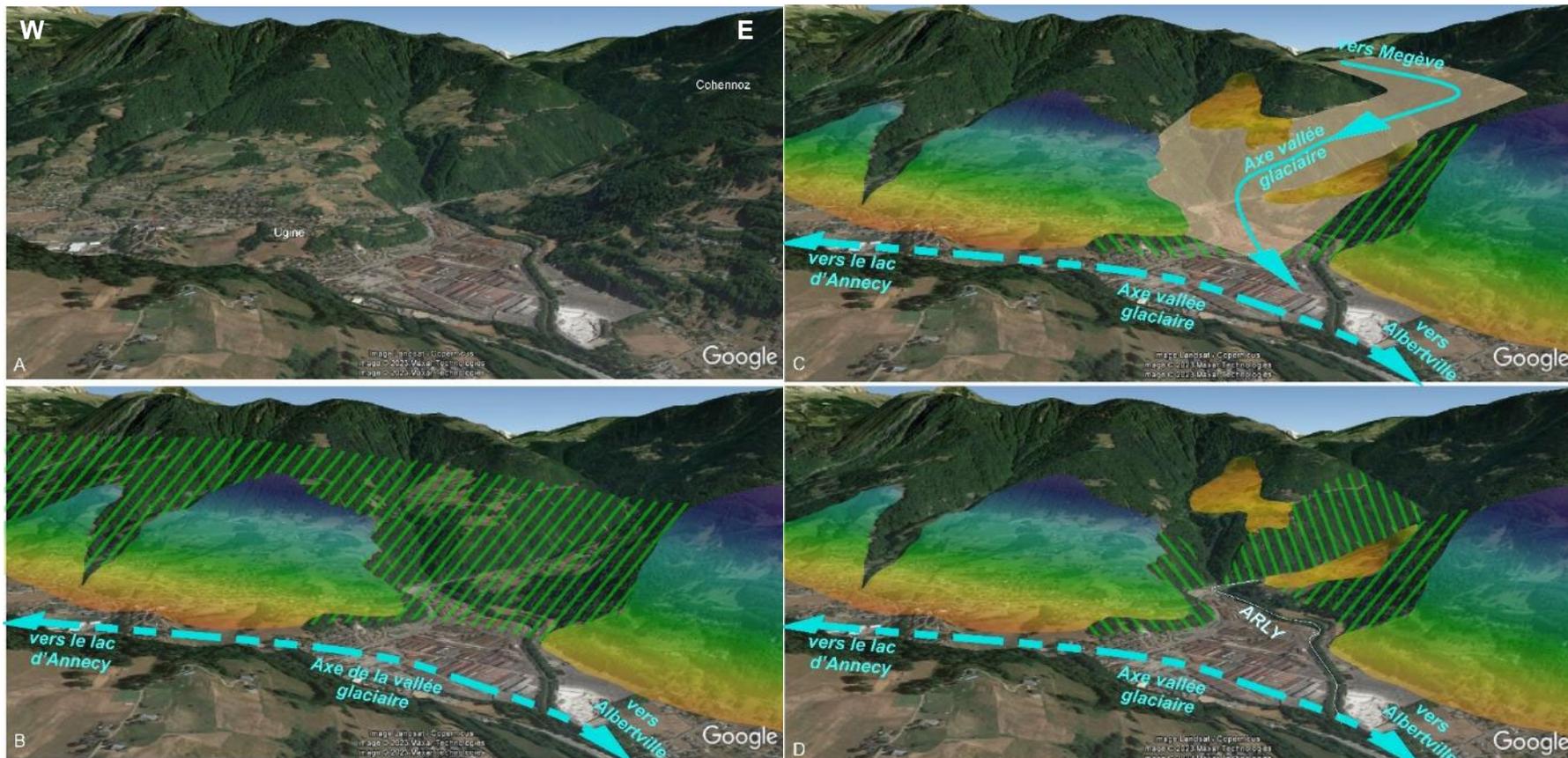


Figure 63 - Secteur de Ugine au débouché de la vallée encaissée de l'Arly et la zone où la Chaise rejoint l'Arly. A : photo actuelle, B : reconstitution avant la capture de l'Arly, C : capture de l'Arly avec formation d'une vallée glaciaire perchée, D : incision de la vallée glaciaire de l'Arly et position actuelle

## 2.5. Les glissements, caractérisation et lien avec le substrat

Les glissements présents dans la région de Cohennoz affectent et ou prennent naissance systématiquement dans les terrains du substrat micaschisteux. Le long de la rivière Arly ils sont situés à partir du Nant des Roches jusqu'à Ugine. Ils affectent principalement le flanc est de la vallée, on retrouve tout de même des glissements de terrain moins matures à l'ouest. Dans ce chapitre, tous les glissements ne seront pas traités. L'objectif est de démontrer leur présence et d'apporter des éléments de compréhension sur leur géométrie, leur occurrence et enfin d'identifier les paramètres d'origine géologique qui les conditionnent.

Sur l'ensemble de la zone, quatre secteurs vont être analysés pour fournir les caractéristiques des zones instables. Ils correspondent au secteur de Bange et de la Morlandière pour la partie occidentale de la vallée puis les secteurs du Ronnaz et les alentours du Nant du Boulou pour la partie orientale (Figure 64). Dans un premier temps seront abordées les zones situées à l'ouest de l'Arly puis celles à l'est.

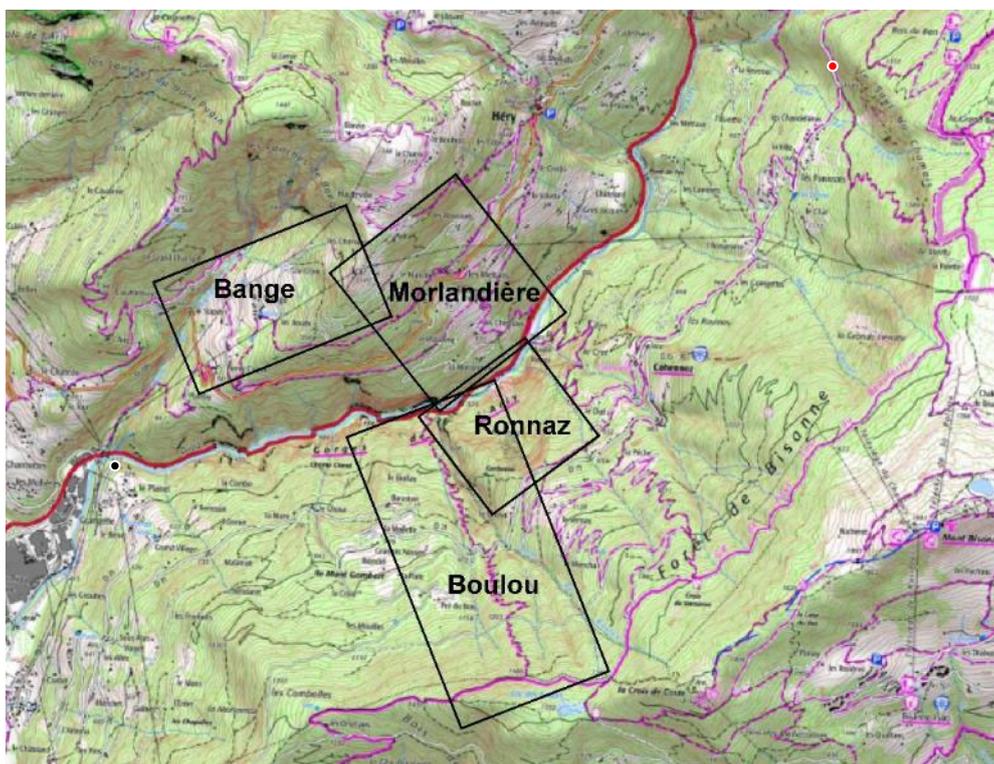


Figure 64 - Localisation des secteurs analysés pour caractériser les glissements de terrain. Localisation des points d'affleurement de la Figure 75 en rouge le point d'observation au pied de la crête « au saut du Chamois », en noir le point au niveau du lieu-dit « la grangette »

### 2.5.1. Secteur de Bange

Là où l'Arly rejoint Ugine le Nant de Bange est fortement incisé dans le substrat dans sa partie inférieure. A partir de 680 mètres d'altitude la topographie deviens plus douce et la partie Est montre un petit plateau légèrement incliné vers le sud-ouest (Figure 65). Dans sa partie supérieure la pente se redresse pour former une petite crête arquée au niveau du lieudit « la croix ». La carte géologique indique la présence de masses glissées et/ou écroulées remaniant les moraines et des micaschistes ainsi que la présence de siltites et grès du Carbonifère (Figure 66).

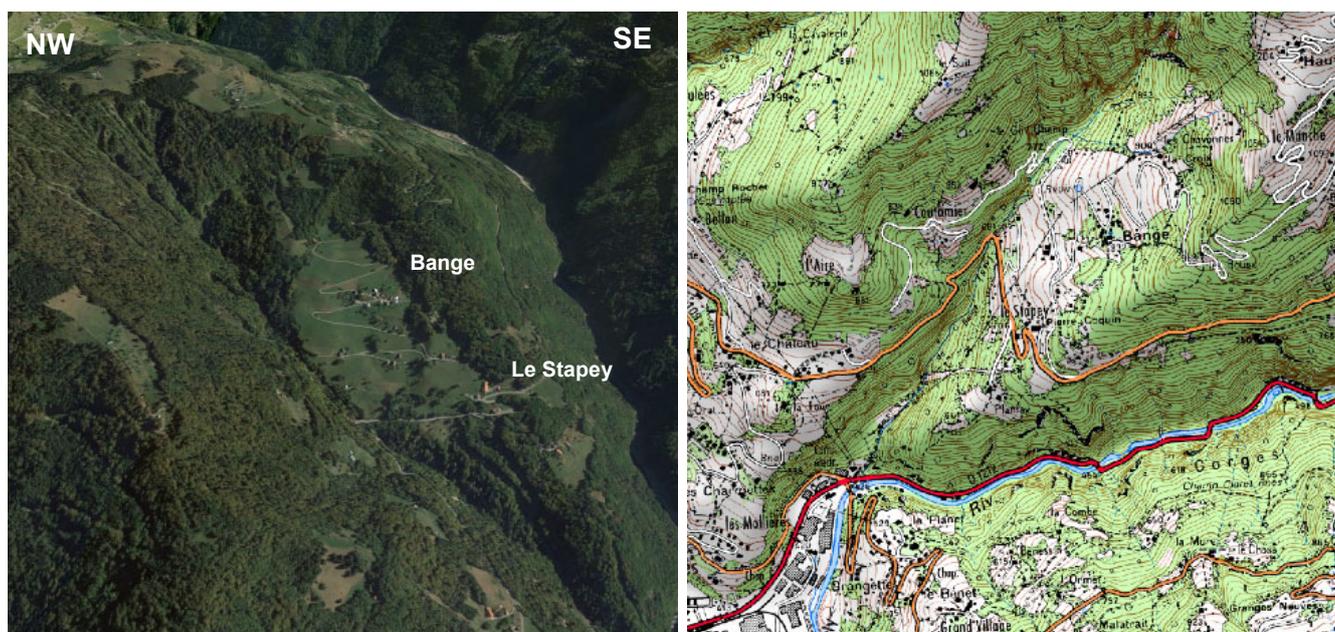


Figure 65 – Secteur de Bange, à gauche une vue aérienne, à droite un extrait de la carte topographique IGN à 1/25 000



Figure 66 – A gauche, carte géologique au 1/50 000 drapée sur le fond topographique du secteur de Bange. A droite la carte géologique à plat avec description des polygones du secteur de Bange

La réalisation d'une carte de pentes du secteur en choisissant des valeurs de seuil pertinent met en évidence la zone instable et ses contours (Figure 67). L'escarpement est déterminé par les pentes fortes qui décrivent une forme de fer à cheval tournée vers l'ouest. La comparaison entre les contours définis à partir de la carte des pentes et ceux définis sur la carte géologique permet de préciser la position des objets déplacés et indique que la base du glissement est nécessairement située dans les séries du Carbonifère, quelques mètres sous la discordance (Figure 68 et Figure 70). Au vu des pendages des terrains carbonifères la base du glissement correspond au moins partiellement à un glissement banc sur banc.

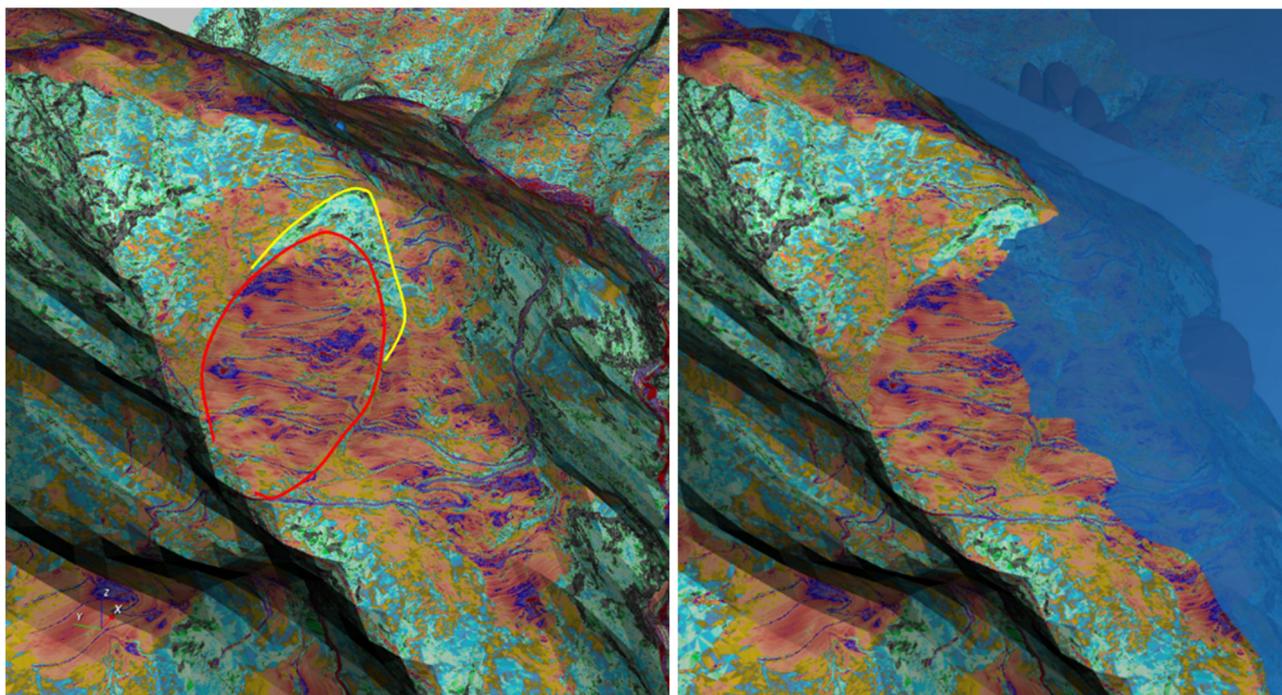


Figure 67 – Carte des pentes drapée sur la topographie, habillée des cicatrices d'arrachement, en jaune le haut des escarpements, en rouge le contour de la zone glissée. L'échelle des couleurs utilisée pour les pentes est la même que celle employé pour le Guil, à droite avec la position de la base du Trias (en bleu) intercepte la surface topographique juste au niveau de la loupe de glissement

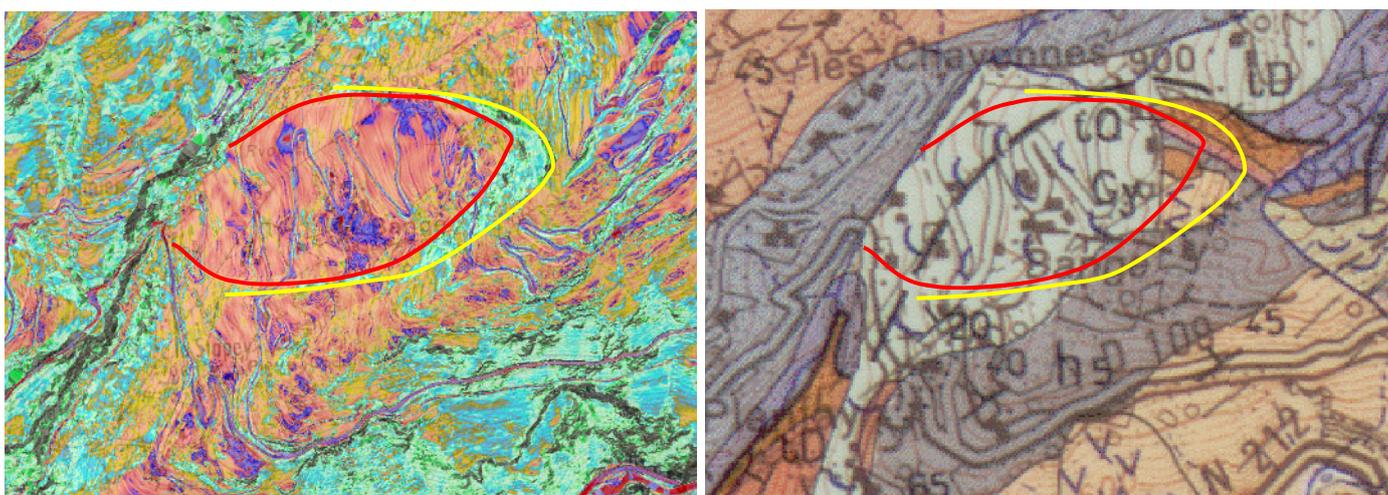


Figure 68 – Localisation de la zone de glissement sur la carte des pentes et comparaison avec la carte géologique

## 2.5.2. Secteur de La Morlandière

La zone instable de la Morlandière est située au niveau du changement de la direction de l'écoulement de l'Arly, au niveau du Moulin ravier sur le flanc occidental (Figure 69). Elle est recouverte par une forêt localement défrichée et transformée en pâtures, quelques maisons sont également présentes. Une vue depuis le sud vers le nord permet d'identifier aisément la masse glissée (Figure 71). Au niveau de la départementale D109, un mur de soutènement de talus est affecté par des fissures ouvertes suggérant une poussée horizontale (Figure 72). A partir d'une carte des pentes il est possible de définir le contour de la masse glissée (Figure 70). Le mur affecté par les fissures se situe précisément sur la bordure sud de la masse glissée alors qu'au niveau de la carte géologique le contour de la masse glissée décrit un objet plus restreint, notamment dans sa partie haute.

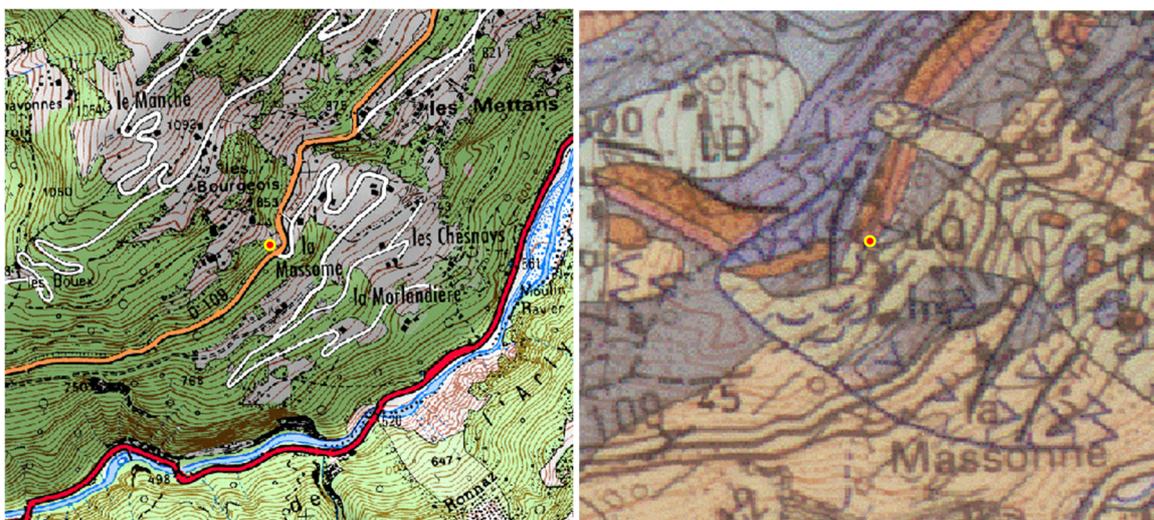


Figure 69 – Carte topographique du secteur la Morlandière à gauche et à droite, un extrait de la carte géologique. Point jaune : localisation de l'affleurement **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

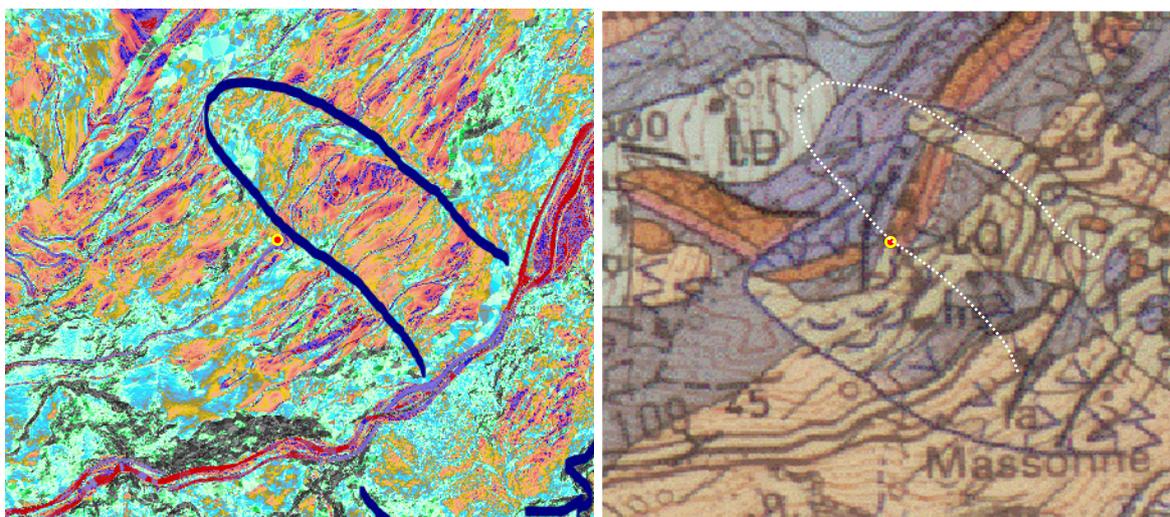


Figure 70 – A gauche carte des pentes et limites des limites des principaux escarpements pour les glissements, à droite l'extrait de la carte géologique à 1/50 000 avec les limites cartographiques des masses glissées.

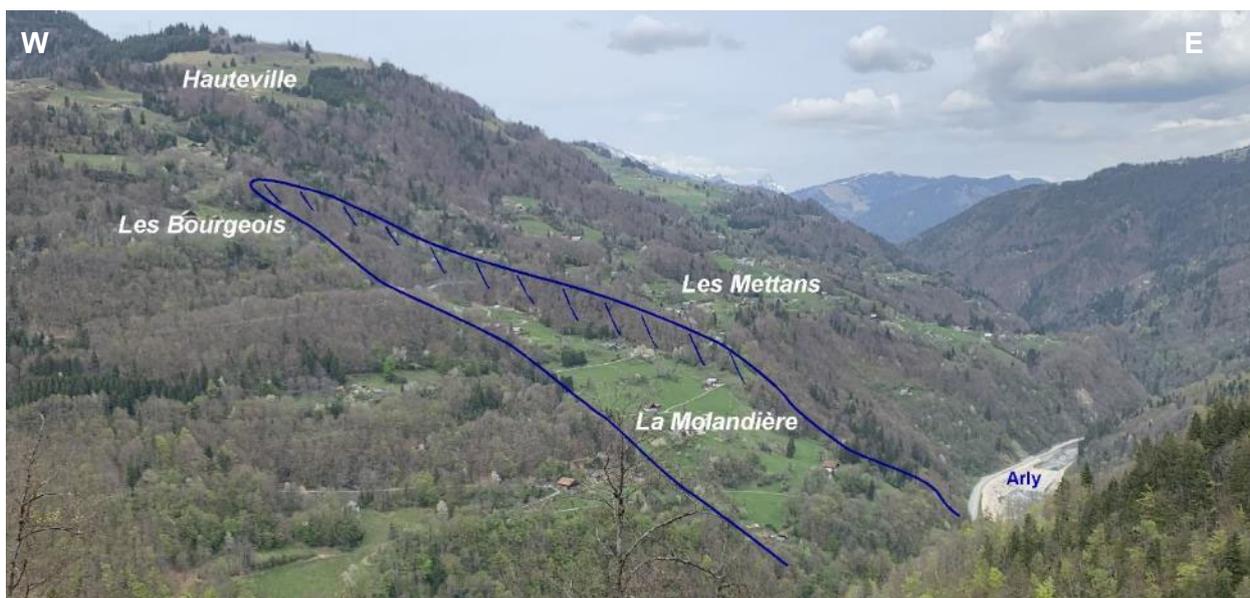


Figure 71 - Vue depuis le sud du glissement de la Morlandière



Figure 72 - Affleurement le long de la route départementale 109 au niveau de la bordure sur de la zone du glissement de la Morlandière, localisation en Figure 69

### 2.5.3. Secteur de Ronnaz

La zone instable du Ronnaz, située au sud de la rivière Arly, est recouverte partiellement par une végétation abondante (Figure 64). Avec la carte des pentes et une vue aérienne, il est possible de définir les différents ensembles cartographiques. Les limites supérieure et inférieure de l'escarpement principal sont identifiées avec des contours rouge et bleu (Figure 73 et Figure 74), les pentes y sont fortes, supérieures à 40 degrés (couleur vertes à grises foncées). Dans la partie orientale, au pied de l'escarpement principal, une zone de faible pente est préservée avec des valeurs souvent inférieures à 30° (couleur orange à violacées), la limite de cet ensemble est caractérisée par un contour de couleur jaune. Cet ensemble correspond sur la carte géologique à la masse glissée. Le reste de la zone présente des pentes intermédiaires comprises entre 10 et 40 degrés. Au pied du glissement, la zone active, où la végétation est absente est marquée par des pentages élevés (située sous le contour vert), il en est de même avec la partie amont de la zone axiale, au niveau de la carte des pentes les valeurs sont comprises entre 25 et 40 degrés. Ces secteurs correspondent à la présence de dépôts d'éboulis. La zone intermédiaire présente des pentes plus faibles comprises entre 15 et 30 degrés correspondant à des zones d'éboulis stabilisés pouvant être recouvert par des éboulis plus récents dans la partie supérieure. Sur la carte géologique, deux formations géologiques sont cartographiées : les éboulis et une masse glissée. Par rapport au secteur de la Morandière, les contours de la carte géologique sont nettement plus précis, ils pourraient toutefois être modifiés pour être précis. La partie Nord de cette zone correspond au secteur du Moulin Ravier.

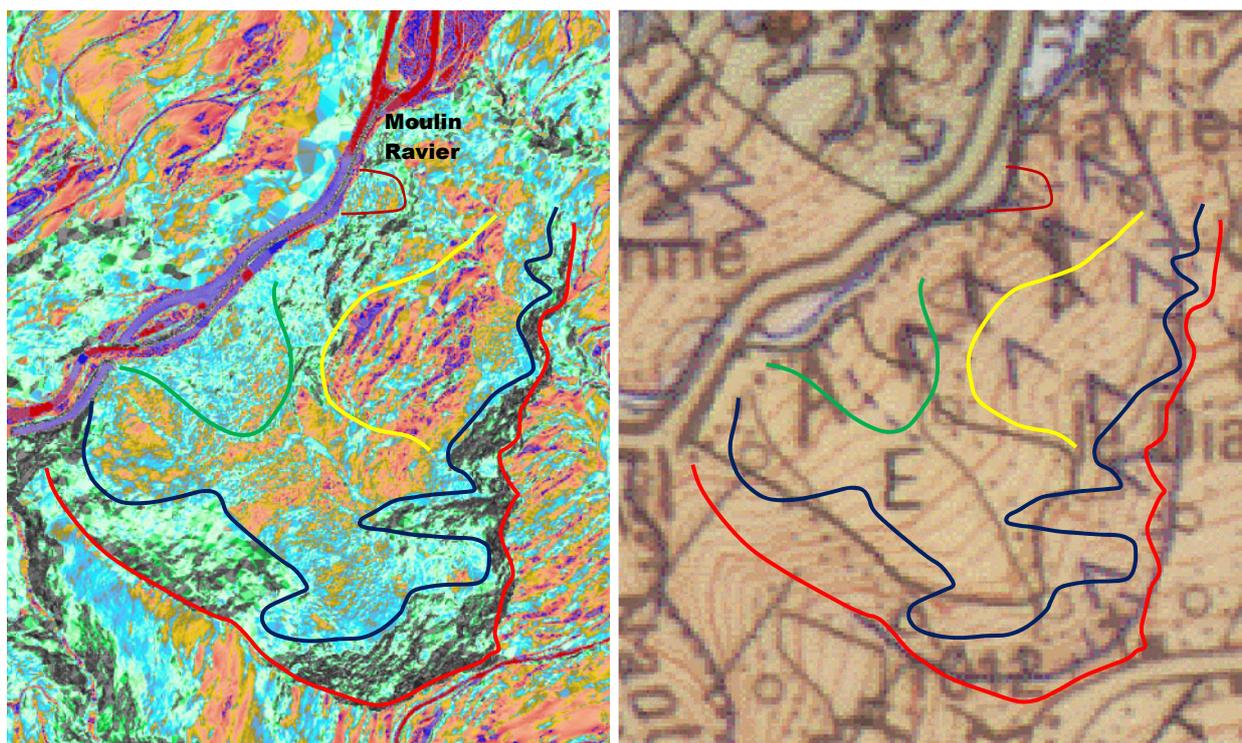


Figure 73 - Détail de la carte de pente de la zone du Ronnaz, en rouge : sommet de l'escarpement principal, en bleu : base de l'escarpement principal, en vert : sommet de l'escarpement actif actuel, en jaune : bordure de la masse glissée du lieu-dit le Diat, en marron : escarpement au sud du Moulin Ravier, à gauche un extrait de la carte géologique avec les éboulis (E) et le dépôt d'écroulement (zone de surcharge avec triangle tournés vers la vallée) remaniant les micaschistes

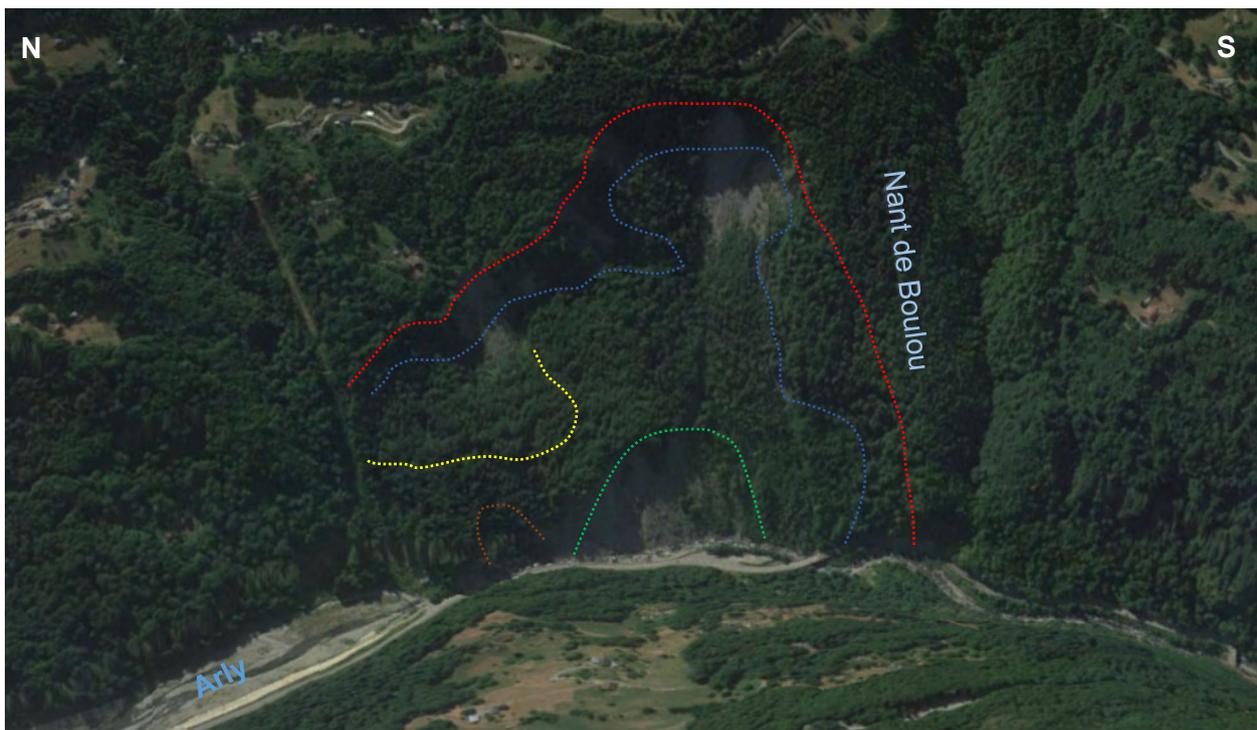


Figure 74 - Vue en 3D de la zone de Ronnaz, Google Earth. Les couleurs sont les mêmes que sur la Figure 73

#### 2.5.4. Caractéristiques des glissements en rive droite de l'Arly

Les pentes orientales de la vallée de l'Arly sont tapissées de dépôts de versants de nature variée, uniquement constitués par des éléments issus du démantèlement des micaschistes. Il y a très peu de roches en place, les affleurements de roches non affectées par les mouvements de versants sont situés au niveau des crêtes, ou sous les discordances et dans les fonds des nants, qui s'écoulent et traversent les terrains déstabilisés (Figure 75). Il est relativement difficile de trouver un affleurement qui n'ait pas été affecté par un glissement. En général les plans de schistosité sont fortement pentés et décrivent une structure antiforme de direction NE-SW (Figure 51).

##### *g) Typologie des structures dans le versant de Cohennoz*

Si les dépôts de versants sont uniquement constitués des roches issues du socle micaschisteux, ils se présentent sous plusieurs faciès selon le degré de dégradation de la roche. On trouve en effet dans le versant des paquets de micaschistes basculés à des degrés divers. Ainsi la schistosité qui tend à être plutôt verticale en profondeur dans l'ensemble de la zone (Figure 51) prend des inclinaisons systématiquement vers l'est ou vers le sud est en fonction du secteur. L'inclinaison des micaschistes diminuent rapidement pour se paralléliser avec la surface topographique (Figure 76 et Figure 77). Cette variation indique un déversement des plans de schistosité selon le principe du fauchage (Figure 78). Ce basculement des structures et leur migration dans la pente s'accompagne de failles planes obliques sur les plans de schistosité et systématiquement subparallèles à la pente. L'évolution par basculement, puis migration des blocs dans la pente s'accompagne d'une dégradation des roches combinant fracturation et altération qui s'accroissent avec le déplacement. Ainsi plus le déplacement est grand plus la taille des blocs diminue et la proportion argileuse augmente, la taille des blocs variant de quelques centimètres à plusieurs décimètres.

La composition minéralogique des micaschistes n'est pas homogène, elle varie depuis un pôle micacé à un pôle quartzitique. Cette anisotropie de composition, non identifiée cartographiquement car de taille centimétrique à plurimétrique, vient compléter le schéma avec la présence possible de zone de fragilité plus importante au sein du massif facilitant sa déstructuration.



Figure 75 - Exemple d'affleurements de micaschistes non affectés par les mouvements de versants, à gauche : affleurement situé le long de la route située au pied de la crête « au saut du Chamois » et à droite l'affleurement de micaschistes situé sous la discordance à l'ouest au niveau du lieu-dit « la grangette », localisation voir Figure 64



Figure 76 – Exemple d'affleurement observés dans le versant oriental du val d'Arly montrant la base d'une zone de fauchage. La série basculée présente un pendage plus faible que la série sous-jacente avec une direction de pendage à l'opposé de celle de la pente. Présence d'une fracture sans déplacement limitant la base de la zone fauchée. Une partie des photographies sont inversées pour être toutes avec la base du versant à gauche



Figure 77 - Exemples d'affleurements de roches déstabilisés s'observant dans le versant oriental du val d'Arly. Les inclinaisons de la schistosité sont basculées à fortement basculées pour finir par se paralléliser avec la pente. On notera la présence de failles permettant aux roches de constituer des radeaux subparallèles à la pente du versant. Une partie des photographies sont inversées pour être toutes avec la base du versant à gauche. La dernière photo correspond à un talus routier avec fauchage des micaschistes pouvant ressembler à ce qui se passe à l'échelle kilométrique

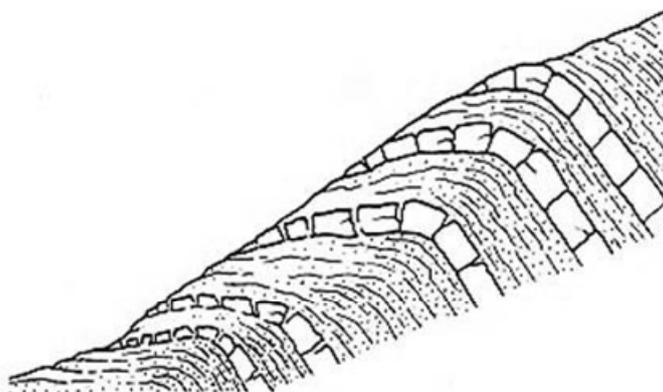


Figure 78 - Schéma de principe d'un fauchage

Au cours de ce travail, il n'a pas été réalisé de cartographie détaillée de la répartition des blocs et de leur taille. Or cette information pourrait apporter des éléments de réponse quant à la cinématique des déformations dans le versant, en délimitant les grandes unités susceptibles de constituer des masses se déplaçant de manière homogène et les autres domaines plus complexes localisant l'essentiel des déformations.

#### *h) Caractéristiques des pentes de la zone fauchée*

Si une vision 3D de la zone d'endommagement est difficile à concevoir aisément du fait de la très forte hétérogénéité des géométries interne au glissement et des grandes incertitudes qui existent sur la position de la base de la zone de glissement et son prolongement vers le haut, il est cependant possible de proposer une vision en coupe et de faire des propositions sur sa structure interne à partir de l'ensemble des observations réalisées lors des campagnes de terrain.

Un ensemble de coupes topographiques sont réalisées et rassemblées dans un diagramme unique. Afin de pouvoir comparer l'ensemble des profils topographiques, l'origine des coupes est placée au niveau de la vallée. Les coupes sont réalisées indistinctement dans les fonds de vallées qui rejoignent l'Arly (tel que le Nant de Boulou) ainsi qu'entre les vallées. Les éléments qui ressortent de ce diagramme sont (Figure 79) :

- Des profils qui définissent une bande au sein de laquelle chaque profil topographique à sa spécificité ;
- Une valeur de pente des différents profils topographiques constante, à savoir d'environ 25° degrés ; soit une dénivelée de 1km sur une distance de 2 km, en cohérence avec ce qui est connu par ailleurs sur des faciès identiques (site de la Clapière. Merrien-Soukatchoff et al., 2001)
- Une différence d'altimétrie maximale entre les profils topographiques d'un peu plus de 200 mètres.

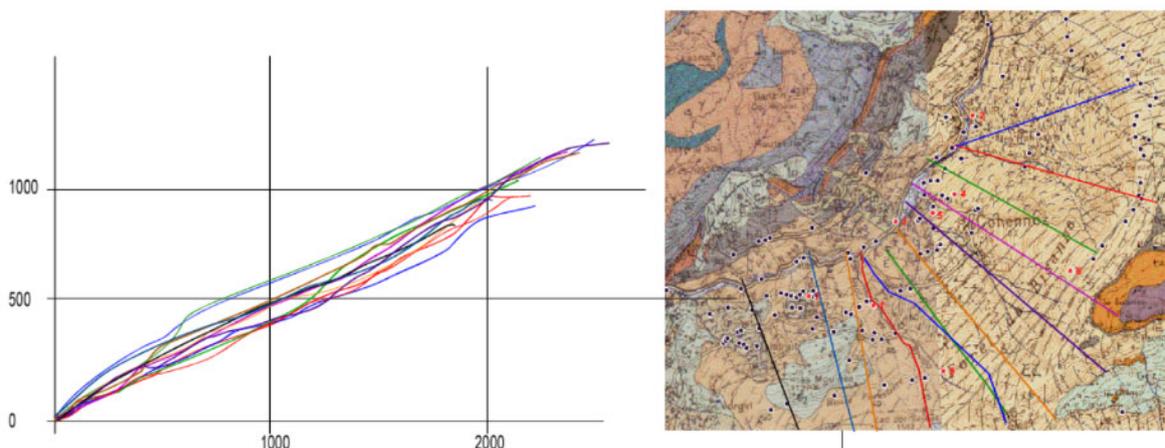


Figure 79 – Ensemble de coupes topographiques du secteur de Cohennoz, la couleur permet de localiser le profil au niveau de la carte de droite

### *i) Coupe synthétique*

Au niveau du secteur du Nant du Boulou, l'incision par la vallée est suffisamment importante pour traverser l'intégralité du glissement de terrain et permettre d'en estimer son épaisseur réelle. En effet, localement il est possible d'observer des micaschistes en place sous une zone faillée portant des micaschistes basculés. Dans ce secteur, quatre coupes topographiques sont réalisées depuis l'Arly jusqu'à la crête située au sud. Les coupes passent au niveau du Nant de Boulou (coupe rouge) et sur les reliefs l'encadrant (coupes orange bleu et verte). Pour les coupes bleue et verte, elles sont quasiment identiques pour la partie supérieure, seule le début de la coupe est différent. La coupe bleue passe par la crête entre le nant de Boulou et le secteur du Ronnaz alors que la coupe verte passe par au cœur de la zone du Ronnaz décrite dans le chapitre 2.5.3. Tout comme dans le paragraphe précédent on identifie une surface supérieure inclinée d'environ 25°.

L'ensemble des coupes permet d'illustrer au mieux les variations morphologiques du secteur des reliefs les plus hauts aux incisions les plus basses (Figure 80). Les affleurements observés dans le secteur sont reportés sur la coupe, ils sont localisés en carte et ces trois affleurements apportent des informations sur la structure interne de la zone fauchée. Au niveau de l'affleurement 1 est identifié la base de la zone fauchée, la photo en haut de la Figure 76 permet de voir la discontinuité subparallèle à la pente de la topographie. Les affleurements 6 et 7 correspondant respectivement aux photos 1 et 5 de la Figure 77. L'ensemble de ces informations est reporté dans la coupe synthétique. L'épaisseur de la zone ayant subi le fauchage est d'environ 200 mètres. Sa base peut être assimilée à un plan subparallèle à la surface topographique. Dans la bande fauchée les séries sont basculées vers l'avant jusqu'à se déverser et glisser dans la pente avec des failles subparallèles.

La géométrie des structures dans la partie la plus au sud de la coupe est la plus compliquée à établir. En profondeur le modèle géométrique 3D établi dans le paragraphe f) définit la géométrie de la schistosité avant qu'elle ne soit affectée par le fauchage. Si dans les 2/3 inférieurs du profil les pendages de la schistosité sont principalement subverticaux avec une tendance à décroître vers la rivière Arly, dans la partie haute du profil topographique le substrat décrit une structure antiforme avec un pendage qui s'horizontalise pour prendre ensuite une pente vers l'est. Les structures associées au fauchage se modifient. Les roches ne sont pas basculées mais affectées par des failles présentant des pendages supérieurs à 70 degrés. Les failles principales sont à pendage nord et de forme légèrement courbes vers le bas dessinant une forme listrique. Les décalages sur les plans de failles peuvent être appréhendés par l'analyse de la surface topographique. En effet, celle-ci forme une succession de marches d'escalier dont les décalages verticaux sont de l'ordre de la dizaine de mètres.

L'ensemble de ces caractéristiques permet de proposer une coupe synthétique (Figure 82). La base de la zone de fauchage est positionnée à partir des critères identifiés sur le terrain à savoir : une pente d'environ 25-27° qui se divise et se redresse dans la partie sommitale ainsi que les affleurements positionnant la base de la zone fauchée. A l'intérieur de la masse en mouvement les micaschistes sont basculés vers l'avant. Des cisaillements plans parallèles à la pente découpent la masse fauchée en formant des lames indépendantes glissant dans la pente. Au fur et à mesure des déplacements, les masses glissées se déstructurent pour laisser la place à des blocs enchevêtrés. Sur la coupe, la géométrie des roches du substrat est renseignée à partir des données issues du modèle géométrique 3D réalisé avec GeoModeller© (Figure 51, Figure 52, Figure 53 et Figure 54). L'identification de la structure en profondeur grâce à la modélisation 3D permet de mieux comprendre les raisons pour lesquelles le secteur de Cohennoz est affecté par des mouvements de versant en masse. En effet la schistosité qui structure le substrat a une géométrie particulière qui dans ce secteur est favorable au fauchage. La schistosité est subverticale à renversée dans la majorité du versant ce qui la rend favorable au phénomène de fauchage. Le sommet du versant est positionné dans la partie antiforme dessinée par les plans de schistosité, ce n'est plus le phénomène de fauchage qui déforme les roches mais des failles listriques qui rejoignent les failles du versant.

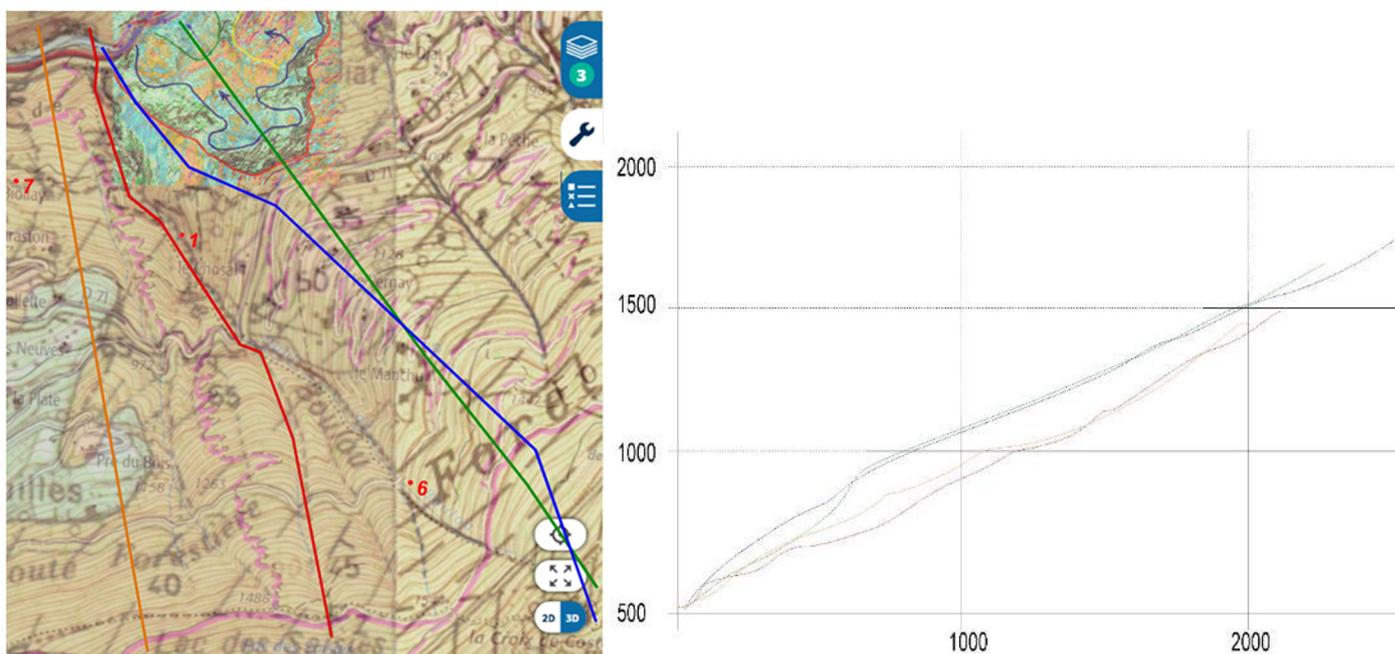


Figure 80 – Carte géologique avec les position des coupes topographiques dans le secteur de Nant de Boulou.



Figure 81 – Affleurement de micaschistes situé dans la partie supérieure de la zone de glissement présentant une schistosité faiblement inclinée au niveau de la zone de charnière antiforme et affectée par des failles normales conjugués subverticales

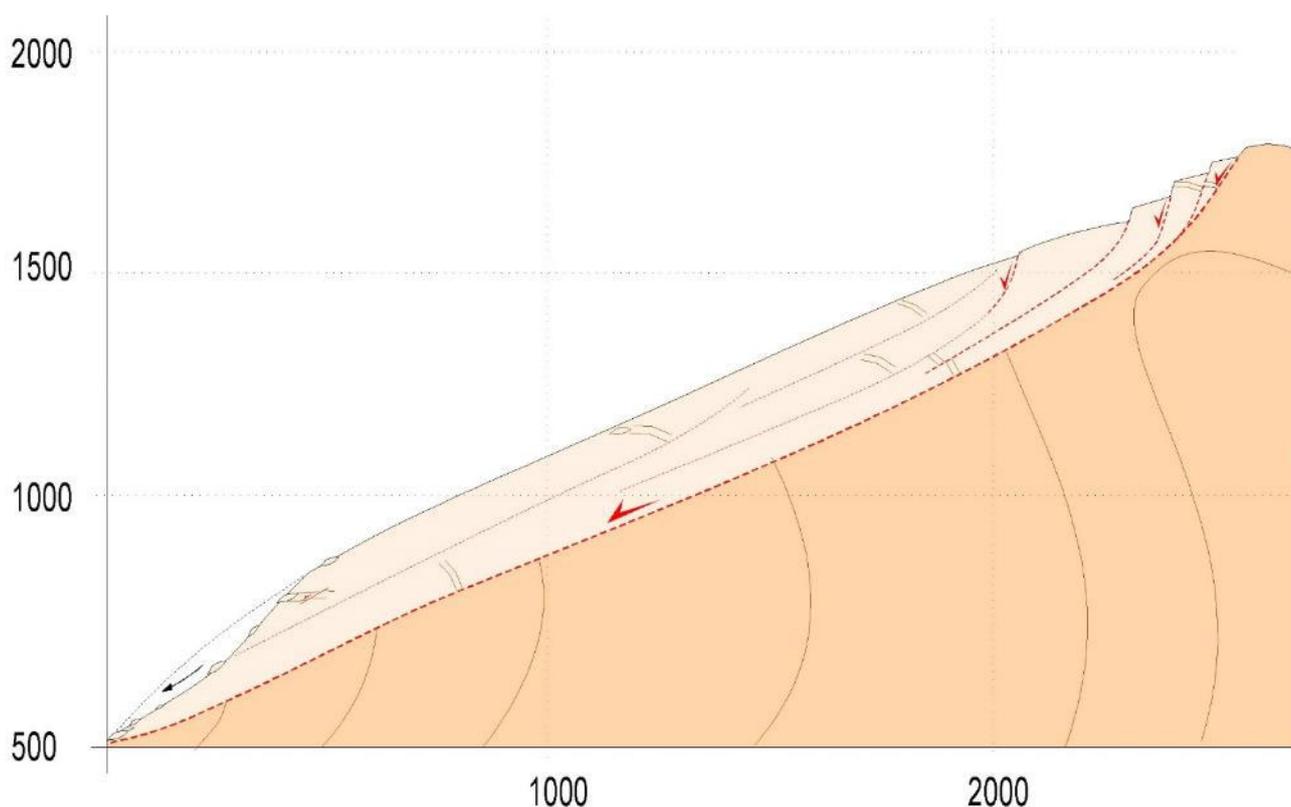


Figure 82 – coupe synthétique schématique de la masse en mouvement passant par le secteur du Boulou et de la géométrie du substrat défini grâce à la modélisation 3D

## 2.6. Discussion masses glissées et structures géologiques

Les observations de terrain conduisent à mettre en évidence le lien entre la présence des micaschistes et les glissements de terrain. En effet, la base des glissements trouve systématiquement naissance dans ces terrains. La présence de terrain altérés (horizon fissuré) juste sous la discordance du Trias permet notamment d'y localiser les déformations. Les plans de schistosité sont redressés et présentent des variations qui selon les secteurs sont favorables au phénomène de fauchage. Ce mécanisme de déformation opère sur l'ensemble du flanc oriental de la vallée de l'Arly et correspond à une déformation gravitaire profonde (Mahr 1977). Sur près de 200 mètres d'épaisseur et depuis la rivière jusqu'à la crête, l'ensemble des roches présente un basculement qui progresse de la base au sommet avec un déversement qui tend à se paralléliser à la pente. En pied de pente et dans les parties les plus superficielles de la zone de glissement les roches sont fortement déstructurées au point de former un amas de blocs lenticulaires accompagnés d'une matrice argilo-silteuse et dont la taille des blocs varie en fonction de l'intensité du déplacement. Les pentes dans les secteurs où les roches sont affectées par du fauchage sont de 25 à 27° (Ambrosi et al., 2022). Le phénomène de fauchage affecte l'ensemble du versant où les pentes de la schistosité sont favorables. Dans les secteurs où la schistosité n'est pas favorable au fauchage, les micaschistes sont alors découpés par des failles listriques normales.

Contrairement au secteur du Guil, où le facteur principal est la disparition du glacier, cette fois-ci c'est l'incision de l'Arly en pied de pente qui génère les instabilités. En effet une analyse de la morphologie de la vallée depuis Megève à Ugine montre que l'Arly n'est pas à l'équilibre et qu'elle a fortement incisé le relief issu des dernières glaciations. Actuellement la rivière n'est toujours pas à l'équilibre. Par rapport aux écoulements habituels des vallées du secteur, il existe un dénivelé de 600 mètres sur les 12 kilomètres qui séparent Flumet d'Ugine. Cette anomalie morphologique de ce secteur de la vallée de l'Arly est le facteur de premier ordre à l'origine de l'incision et des glissements de terrain.

### 3. Conclusions

Les objectifs de l'étude étaient d'améliorer l'état des connaissances des instabilités de pente qui affectent les gorges de l'Arly et de la haute vallée du Guil afin d'en tirer les conséquences sur la gestion, en terme de risques, adaptée à ces masses instables. Ces deux sites ont été choisis parce qu'ils présentent de nombreuses similitudes en termes de problématiques et de risques d'instabilités de versant. Elles sont le miroir l'une de l'autre entre les Alpes Françaises du Nord (Gorges de l'Arly en région Auvergne-Rhône-Alpes) et du Sud (haute vallée du Guil en région Sud Provence-Alpes-Côte-D'Azur).

Pour établir les facteurs conduisant à générer les instabilités de versant, il a été nécessaire de regarder pour chaque secteur les caractéristiques des zones de glissement ainsi que leur environnement. Les objectifs étant de :

- Définir les caractéristiques des vallées et leur contexte ;
- Définir les géométries et les structures affectant les roches en place constituant le substratum ;
- Caractériser les géométries des zones de glissements et définir les structures associées ;

A l'issue de l'analyse de l'ensemble des données disponibles complétées par les observations de terrain il s'avère que les deux zones d'études diffèrent par de nombreux points. En effet, même si les roches dans les deux secteurs sont affectées par une schistosité bien développée et que les masses instables semble présenter des critères identiques en terme de dynamique récente avec des masses rocheuses remaniées liés à des mouvements de versants rapides importants et que les impacts pour les activités humaines sont majeurs, les observations géologiques conduisent à caractériser des objets bien différents. Ainsi, ci-dessous sont listées les principales caractéristiques, convergentes et divergentes, pour chaque zone :

- La géométrie et la cinématique des vallées :
  - o La vallée du Guil correspond à une vallée glaciaire en U caractéristique. A la base elle est marquée par un fond plat et des versants symétriques redressés. La pente de la vallée est faible et constante. C'est une vallée à l'équilibre sans incision de son fond et où les alluvions sont transférées vers l'aval.
  - o La vallée de l'Arly, en amont de Flumet et en aval d'Ugine, la pente de la vallée est cohérente avec ce qui se rencontre dans les autres vallées alpines. Par contre entre Flumet et Ugine, la vallée présente une pente presque 20 fois supérieure. Cette particularité locale est à l'origine de la forte incision du lit de la rivière et le rééquilibrage des versants de la vallée sans doute associée à la capture récente de la partie amont s'écoulant à plus de XXX m par la partie aval située à dans les environs d'Ugine. Le long de son parcours entre Ugine et Flumet, la géométrie du fond de vallée varie entre zones larges où s'accumulent temporairement des alluvions et des zones étroites correspondant à un canyon sans dépôts.
- Les structures géologiques du substrat :
  - o Dans la vallée du Guil, les Schistes lustrés présentent un pendage homogène sur l'ensemble du massif avec une inclinaison constante vers l'ouest d'environ 30 degrés. La direction de la schistosité est donc transverse par rapport à la direction de la vallée. De nombreuses failles tardives affectent le massif avec une famille de failles prédominante orientée N050 formant un couloir passant par le village d'Aiguilles. Au niveau du versant nord de la vallée, sont présent des dépôts morainiques et des dépôts de pente formés en contexte périglaciaires.
  - o Dans la vallée de l'Arly, les micaschistes sont affectés par déformations plicatives post-schisteuses décrivant une structure antiforme d'échelle kilométrique. Les plans de schistosité présentent des variations de direction et d'inclinaison. Dans la zone instable, les pendages sont systématiquement avec des pentes de plus de 75° degrés. Les terrains méso-cénozoïques débutant au permo-trias sont inclinés vers l'ouest d'une vingtaine de degrés et reposent en discordances sur les terrains du

Carbonifère et le substrat micaschisteux. Sous la discordance permo-triasique, les micaschistes présentent des traces d'une altération avec la préservation d'un horizon fissuré.

- La répartition des glissements de terrain dans les versants :
  - Le versant sud de la vallée du Guil est affecté de glissements en masse de grande dimension. Au niveau du versant nord, des dépôts morainiques et des dépôts périglaciaires de pentes sont préservés. La seule zone affectée par des mouvements de versant importants est située au niveau du Pas de l'Ours
  - Pour la vallée de l'Arly, les deux versants sont affectés par des glissements en masse sur une distance de 4 kilomètres en amont d'Ugine. Le versant en rive gauche est tapissé de masses glissées. La rive droite est également affectée mais avec des glissements plus sectorisés.
- Les caractéristiques des masses glissées :
  - Le glissement du Pas de l'Ours, au nord du Guil, est caractérisé par un enchevêtrement de blocs de forme lenticulaires de taille plurimétrique à centimétrique. Le forage, réalisé dans la partie basse du glissement, montre une épaisseur de la masse glissée avoisinant les 50 mètres.
  - Les masses glissées affectant les versants de l'Arly se caractérisent par le déversement progressif des roches dans le sens de la pente. Les micaschistes, en position subverticale sont affectés par un basculement progressif des plans de schistosité dans le sens de la pente. Cette déformation correspond à un fauchage de grande ampleur de l'ensemble du versant. L'épaisseur du fauchage est d'environ 200 mètres. La pente moyenne des failles accompagnant le fauchage, parallèles à la pente du versant, est d'environ 25-28°.
- La genèse des glissements :
  - Les glissements de terrain le long du Guil sont liés au retrait glaciaire. A la fin de la période glaciaire, la glace se retire progressivement vers les reliefs en abandonnant les vallées. Sa disparition laisse les versants sans retenues latérales qui se déstabilisent en générant des glissements dont la position et la taille dépendent des structures des roches qui les constituent. Dans le cas des versant du Guil, du fait de l'obliquité de la direction principale de la vallée (N070) sur les structures (failles, schistosité), les versants sud sont propices à des effondrements de plus grandes ampleurs que les versants nord. Les failles et les plans de schistosité définissent des dièdres utilisés comme couloir de faiblesse pour générer des glissements. Dans la configuration actuelle, les versants sud de la vallée sont favorables à des déstabilisations majeures car les plans de schistosité sont disposés de telle manière qu'ils permettent aux roches de glisser vers la vallée. A contrario, pour le versant nord, les plans de schistosité confèrent à la roche plus de résistance aux déstabilisations de pente. Seules les failles qui compartimentent le massif rocheux sont utilisées. Seule la zone en amont d'Aiguilles est affectée par des mouvements de versant (glissement du Pas de l'Ours), ailleurs les dépôts morainiques et périglaciaires drapent le versant, préservé de mouvements. Il semble y avoir un lien entre la déstabilisation de cette zone et le déport vers le nord du ruisseau du Guil suite à la mise en place du glissement de terrain qui a affecté le versant sud de la vallée du Guil. Une fois le massif déstabilisé, dans les masses glissées, les plans de schistosité servent de zones de faiblesses pour segmenter la masse en mouvement et être à l'origine de la formation de blocs lenticulaires.
  - Pour l'Arly, comme la pente de la vallée n'est pas à l'équilibre, la rivière incise son substrat afin d'atteindre le niveau d'équilibre. L'incision du fond de vallée génère les déstabilisations des versants qui se matérialisent par un fauchage des micaschistes sur une forte épaisseur. Les déstabilisations de versant affectent les roches dans la partie inférieure de la vallée (les cinq premiers kilomètres en amont d'Ugine), là où les processus d'érosion liés au rééquilibrage sont les plus intenses. Le basculement des roches dans les versants puis leur glissement vers la vallée affecte l'intégralité du versant jusqu'à la crête.

## 4. Bibliographie

AMBROSI C. AND CROSTA G. B. (2022) - Valley shape influence on deformation mechanisms of rock slopes. From: Jaboyedoff, M. (ed.) Slope Tectonics. Geological Society, London, Special Publications, 351, 215-233. DOI: 10.1144/SP351.12.

DOUDOUX B., ROSSET J., BARFÉTY J.C., CARFANTAN J.C., PAIRIS J.L., avec la collaboration de NICOU D., COLLETTA B., RIVANO-GARCIA S., TARDY M., DEVILLE E., GUÉRIN F. (1992) - Carte géol. France (1/50000), feuille Annecy-Ugine (702) - Orléans : BRGM.

DOUDOUX B., BARFÉTY J.C., CARFANTAN J.C., TARDY M., NICOU D. (1992) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Annecy—Ugine (702) — Orléans : BRGM, 62 p.

DEBELMAS J., LEMOINE M., avec la collaboration de KERCHKOVE Cl., FAIL J.-P., LAVERGNE M. (1966) - Carte géol. France (1/50000), feuille Guillestre (847). Orléans: BRGM.

DEBELMAS J., LEMOINE M. avec la collaboration de KERCHKOVE Cl., FAIL J.-P., LAVERGNE M. (1966) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50000) feuille Guillestre (847). Orléans: BRGM, 19 p.

FORT M. ET TRICART P. (2019) – Site du Pas de l'Ours. Regards Croisés, colloque scientifique 21 et 22 janvier, Cinéma de Guillestre.

Hervieux C., Agard P., Plunder A., Mendes K., Verlaquet A., Deldicque D., et Cubas N. (2022) – Subducted fragments of the Luguro-Piedmont ocean, Western Alps : Spatial correlations and offscraping mechanisms during subduction. Tectonophysics, 837. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2022.229267>.

HYPOLYTE J.C., BOURLÈS D., LÉANNI L., BRAUCHER R., CHAUVET F. ET LEBATARD A.E. (2012) - <sup>10</sup>Be ages reveal >12 ka of gravitational movement in a major sacking of the Western Alps (France). Geomorphology, 171-172, 139\*153. doi:10.1016/j.geomorph.2012.05.013.

LACQUEMENT F., F. PROGNON, C. PROGNON, S. COURBOULEIX, F. QUESNEL, G. KARNAY ET E. THOMAS avec la collaboration de J.-P. QUINQUIS, P. MARTIN, D. RAMBOURG ET P. LEBRET (2009) - Etat des lieux de la connaissance cartographique du régolithe de la France métropolitaine à 1/1 000 000. BRGM/RP- 57932 - FR, 48 p., 6 fig., 2 pl. hors-texte, 1 CD.

LACQUEMENT F., TISSOUX H., QUESNEL F. ET BIALKOWSKI A. (2022) – Mise à jour de la carte regolithe autochtone de la France métropolitaine à 1/1 000 000. Rapport BRGM/RPXXXX- FR, XX pages.

LAZARRE J., TRICART P. ET VILLEMIN T. (1994) – L'extension cassante tardi-orogénique dans les Schistes lustrés piémontais du Queyras (Alpes occidentales, France). C.R. Acad. Sci. Paris, t.319, série II, p.1415 à 1421.

MAHR T. (1977) – Deep-reaching gravitational deformations of high mountains slopes. Bull. of the International of Engineering Géology. N°16, 121-127, Krefeld.

MENNESSIER G., CARME F., BELLIERE J., DHELLEMES R., ANTOINE A., DABROWSKI H. MELOUX J., BORDET C. (1976) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille de Saint-Gervais (703) — Orléans : BRGM, 38 p.

MERRIEN-SOUKATCHOFF V., QUENOT X., GUGLIELMI (2001) – Modélisation par éléments distincts du phénomène de fauchage gravitaire. Application au glissement de la Clapière (Saint Etienne de Tinée, Alpes Maritime). Revue française de géotechnique n°95/96, 2 et 3 ieme trimestre 2001.

PUTZ H. (1934) - Le haut Val d Arly. In: Revue de géographie alpine, tome 22, n°4, 1934. pp. 719-743; doi : <https://doi.org/10.3406/rga.1934.5123>

ROSSET J., MENNESSIER G., BELLIERE J., DHJELLEMES R., OULIANOFF N., ANTOINE P. & CARME F. (1977). - Carte géol. France (1/50.000°) Feuille Saint-Gervais (703), Orléans, B.R.G.M.

Chartier F. (2017) – Glissement de terrain du « Pas de l'Ours » - étude générale du glissement RD947 – PR 9+600 à 10+300 Commune d'Aiguilles (05) ? SAGE de septembre 2017 - RP6626 bis.

SCHWARTZ S. (2003) – La zone piémontaise des Alpes occidentales : un paléocomplexe de subduction. Arguments métamorphiques, géochronologiques et structuraux. Thèse de l'Université de Grenoble. <https://theses.hal.science/tel-00003697>

SCHWARTZ S., TRICART P., LARDEAUX J.-M., GUILLOT S. (2009) – Late tectonic and metamorphic evolution of the Piedmont accretionary wedge –Queyras Schistes lustrés, western Alps) : Evidences for tilting during Alpine collision. GDA Bulletin, v.121 ; n° ¾ ; p.502-518.

TRICART P., SCHWARTZ S., SUE C., POUPEAU G. ET LARDEAUX J.M. (2001) – La dénudation tectonique dela zone ultradauphinoise et l'inversion du front Briançonnais au sud-est du Pevoux (Alpes occidentales) : une dynamique miocène à actuelle. Bull. Soc. géol. France, t. 172, n°1, pp 49-58.

TRICART P., AMAUDRIC DU CHAFFAUT S., AYOUB C., BALLÈVRE M., CABY R., GOUT C., LAGABRIELLE Y., LEBLANC D., LE MER O., PHILIPPOT P., SABY P. (2003) - Carte géol. France (1/50 000), feuille Aiguilles - Col Saint-Martin (848). Orléans: BRGM. Notice explicative par Tricart P., Schwartz S., Lardeaux J.-M., Thouvenot E, Amaudric du Chaffaut S. (2003), 150 p.

TRICART P., SCHWARTZ S., LARDEAUX J.-M., THOUVENOT E, AMAUDRIC DU CHAFFAUT S. (2003) - Notice explicative, Carte géol. France (1/50 000), feuille Aiguilles - Col Saint-Martin (848). Orléans: BRGM, 150 p. Carte géologique par Tricart P., Amaudric du Chaffaut S., Ayoub C., Ballèvre M., Caby R., Gout C., Lagabrielle Y., Leblanc D., Le Mer O., Philippot P., Saby P. (2003).

ZISCHINSKY U. (1968) – Über Sackungen. Rock Mechanics 1, 30-52.



**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**

*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin

BP 36009

45060 – Orléans Cedex 2 – France

Tél. : 02 38 64 34 34

**Direction régionale ou UTAM**

Adresse

Tél. :

**[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**