

Cônes alluviaux de la fin du glaciaire au début de l'holocène sur les flancs de la vallée du Rhône (Valais central, Suisse)

Pierre Stalder

Résumé

Après la disparition du glacier du Rhône, des cônes alluviaux de la fin du glaciaire au début de l'Holocène ont recouvert le substrat penninique des flancs de la vallée du Rhône (Valais central, Suisse), puis ont été partiellement érodés avant que le loess ne se dépose. Vers la fin de la phase d'édification des cônes, lorsque les sources locales (glaciers rocheux et étendues d'eau) se sont épuisées, les empilements constitutifs de coulées de débris, de coulées de sable subordonnées (uniquement sur le flanc sud) et de dépôts torrentiels ont été recouverts par des dépôts chaotiques enrichis de matériel provenant du glacier du Rhône et de moraines locales, ainsi que de morceaux de substratum. La mise en place des volumineux cônes du flanc S a contribué au remplissage de la vallée et a probablement précédé celle du glissement de Sierre. Bien que probable, ceci ne peut être démontré sur le versant opposé. Témoignage de l'instabilité des pentes, un important glissement de terrain s'est produit sur le plus grand cône du flanc S. La séquence des événements, qui est commune à tous les glissements de terrain, n'a pas été démontrée. La séquence d'événements, commune aux deux côtés de la vallée, est interprétée comme une réponse à la fonte du pergélisol et aux précipitations abondantes induites par le réchauffement régional. Cette histoire est très différente de l'histoire actuelle où les dépôts des glaciers du Rhône couvrent les flancs de la vallée.

Mots clés Vallée du Rhône . Glacier du Rhône . Géomorphologie . Cônes de déjection . Glissement de terrain . Dépôt de laves torrentielles . Dépôt d'écoulement de sable . Dépôt chaotique . Imbrication . Glacier rocheux .

Dédicace Ce travail est dédié à feu le Professeur Marcel Burri qui fut un pionnier de l'étude du Quaternaire en Valais et qui a gracieusement accepté de grandes parties de ce travail.

1 Introduction

Dans la zone d'intérêt, les flancs inférieurs de la vallée centrale du Rhône (RV, Fig.1) sont constitués d'un substrat penninique recouvert de dépôts quaternaires actuellement interprétés comme "Glaciaire rhodanien" (GR) par Badoux et al. (1959) ou "Moraines de la dernière glaciation (MdG) par Gabus et al. (2008a et b). Lors d'une visite des expositions concernées, cette interprétation a été remise en question, les dépôts de débris, de coulées de sable et de torrents étant préférés aux moraines. Pour résoudre cette divergence, une nouvelle enquête sur les dépôts quaternaires a été entreprise sur l'ensemble de la zone, dont les résultats sont présentés ci-dessous.

Dans l'ensemble de la région, le loess fixe un âge minimum approximatif de 10kb BP pour les événements décrits (Guélat 2013), qui doit être réévalué localement. Il s'agit d'une couche de limon brun d'origine éolienne reposant en discordance sur des dépôts plus anciens, d'une épaisseur généralement inférieure à un mètre et composée principalement de quartz avec de petites quantités de feldspath, de biotite, de tourmaline, de restes de rameaux oxydés et/ou de leurs produits de décomposition.

Abréviations

CH Chelin, CS Les Clous, CL Creta Limbo, DFD dépôt de laves torrentielles, FL Les Fleurs, OR Les Ormeaux, RG glacier du Rhône, RR fleuve Réchy, RV vallée du Rhône, SD dépôt de pente, SFD dépôt sans écoulement, SGA Atlas géologique suisse, SL glissement de terrain de Sierre, TL couche supérieure, VAL Valençon, VR vallée de Réchy.

Pierre Stalder

p.j.stalder@bluewin.ch

2 Méthodologie

La géologie conventionnelle de terrain (stratigraphie, structure, cartographie, pétrographie), l'analyse basique des roches (lentille binoculaire et granulométrie simple) et l'analyse morphologique ont été les outils utilisés. Faute de soutien financier, les analyses de coupes minces, les analyses quantitatives (rayons X) et les datations (OSL, C14) n'ont pas pu être réalisées.

La distribution granulométrique a été mesurée sur des échantillons secs à l'aide de tamis artisanaux à mailles carrées (6, 1,5, 0,6, 0,3 et 0,1 mm), avec des étapes intermédiaires de lavage et de séchage. La taille maximale des clastes de gravier a été fixée à 80 mm et la taille des échantillons a varié de 0,5 à 2,5 kg, en fonction du tri et de la taille des grains. Cette méthode, qui ne prétend ni à une grande précision ni à une grande exactitude, a été jugée adéquate pour l'objectif fixé.

La composition pétrographique/minéralogique des différentes fractions granulométriques d'échantillons représentatifs a été déterminée et résumée.

3 Cadre morphologique et géologique général

Le RV traverse un empilement de nappes alpines, son axe coïncidant avec le tracé de la zone de faille transcourante dextre Simplon-Rhône (Steck et al. 2001). Ses flancs ont été façonnés par les avancées et les reculs du glacier du Rhône (RG) et de ses branches latérales (Burri 1955 ; Winistörfer 1978 ; Dorthe-Monachon 1993). Pendant le dernier maximum glaciaire, la surface du RG atteignait environ 2000 m dans la zone d'intérêt (Bini et al. 2011). Comme nous le verrons plus loin, la couverture quaternaire des flancs inférieurs est principalement constituée de dépôts de pente (*SD*) et non de GR ou de MdG, comme le montrent respectivement les feuilles 35 et 111 de l'Atlas géologique suisse (AGS).

Des collines émergent du fond de la vallée (Fig. 1), vestiges du glissement de Sierre (Burri 1997 ; Schaechtelin 2000a et b ; Gabus et al. cit.). Le moment de la mise en place de ce dernier, son épaisseur et les formations sous-jacentes sont mal connus. D'après la gravimétrie, le sommet du substratum au centre du RV se trouve à environ 500 m sous la surface actuelle (Rosselli et Olivier 2003). Ce chiffre est confirmé par les lignes de réflexion sismique, dont l'une montre un *SD* jusqu'à environ 300 m a. m. s. l. sur le flanc N, à quelque 6 km au SW de la zone étudiée (Besson et al. 1993).

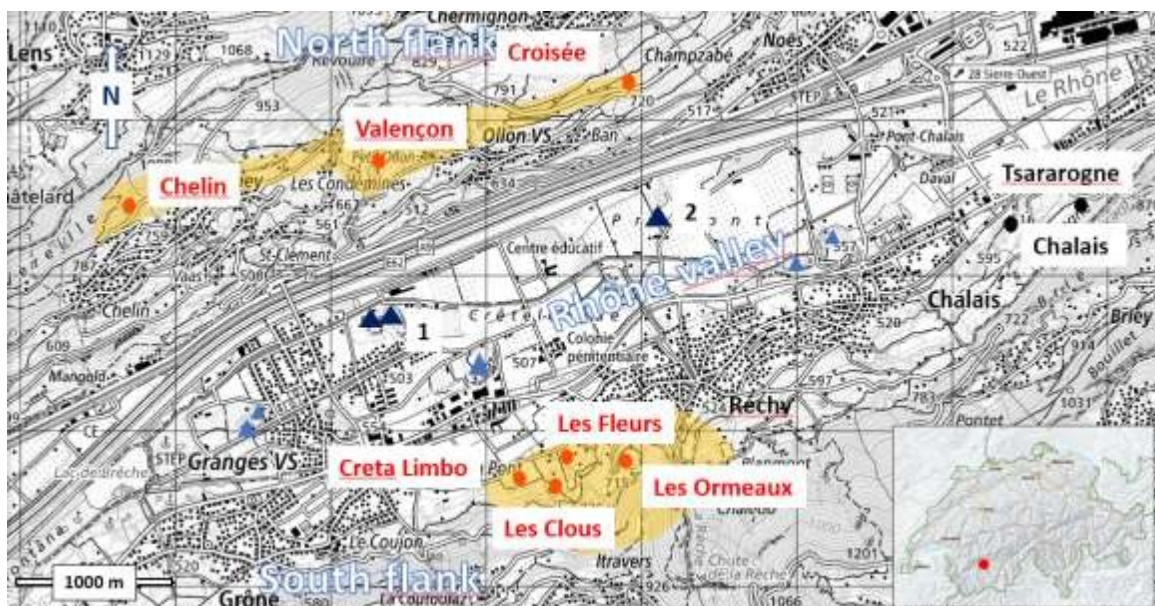


Fig. 1 Situation des zones (ombre jaune) et des sites (points rouges) étudiés. Les points noirs se réfèrent aux carrières mentionnées dans le texte. Les triangles bleu clair dans le RV représentent les collines du SL, les bleus foncés étant surmontés d'alluvions paléo-rhônealpines. 2018 swisstopo base.

4 Le flanc nord : Chelin, Valençon et Croisée

4.1 Cadre géologique

Au-dessous de 1200-1300 m environ, le substrat de la couverture quaternaire est constitué par les formations calcaires-sableuses à pendage NNO de la zone pennique inférieure de Sion-Courmayeur (Badoux et al. lit. cit. ; Gabus et al. lit. cit.). Les formations jurassiques calcaires et schisteuses structurellement sous-jacentes de la nappe Helvétique de Wildhorn, exposées à une altitude plus élevée, ont fourni la majeure partie du matériel *SD* qui comprenait également des composants de la moraine RG et de la terrasse de kame éparpillés sur les pentes.

Depuis le plancher du RV jusqu'à environ 1500 m, la couverture quaternaire est étiquetée GR sur la feuille SGA 35 et MdG jusqu'à environ 2500 m sur la feuille adjacente 111. Cependant, les spectaculaires expositions de Chelin (CH) et de Valençon (VAL) et la modeste exposition de la Croisée racontent une histoire très différente (Fig. 1 et 2).

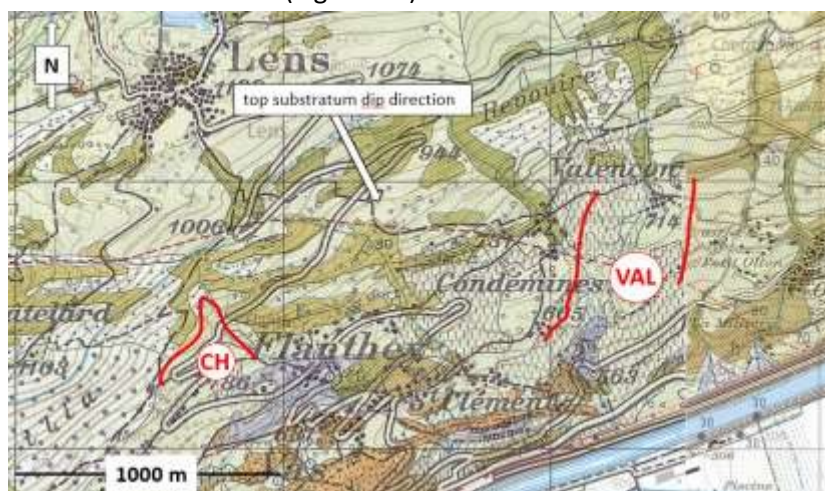


Fig. 2 Extrait des feuilles SGA 35 et 111 montrant les extensions actuelles des corps CH et VAL (à l'intérieur des lignes rouges). La couleur vert clair couvre les dépôts indifférenciés RG et MdG, l'olive le substratum penninique, le violet et l'orange les formations plus anciennes.

4.2 Morphologie

Le bombement topographique et le ravin du VAL sont les traits marquants d'un flanc N généralement lisse, partiellement couvert de vignobles et disséqué par des ravins exposant le substratum et sa couverture (Fig. 2). Le développement de cette morphologie plutôt discrète a commencé avec le creusement du flanc par la RG, s'est poursuivi avec la mise en place des *SD* et leur érosion partielle, et s'est terminé avec le dépôt du lœss et l'érosion qui s'en est suivie.

4.3 Chelin

Burri (1958) y mentionne une moraine stratifiée constituée de couches plongeant à contre-pente. La stratification existe bel et bien, mais les couches plongent vers le bas de la pente, comme le montrent une falaise de 20 m de haut (coord. UTM 2'600'740/1'124'440) et le voisinage. De plus, le premier dévoile clairement une stratigraphie complexe qui est inattendue dans un environnement morainique (Fig. 3 et 4). Les couches du substratum exposées à proximité présentent un pendage de 30° vers le SE et leur surface érodée un pendage de 21° dans la même direction.



Fig. 3 Carte géologique de CH et de ses environs immédiats. La ligne rouge représente la fine unité CH4. Les cercles sont des points de contrôle. 1918 swisstopo base.

4.3.1 Description générale et structure

Le corps bombé CH de SD est délimité par des discordances à ses contacts avec le substratum et le loess (Fig. 4 et 5). Du bas vers le haut, il est constitué de

- les unités **CH1**, **CH2** et **CH3** de lits de graviers soutenus par des boues, interprétées comme des empilements de dépôts de coulées de débris (*DFD, comme discuté au chapitre 4.6*) et séparées par un "pseudo-recouvrement" de CH2 sur le conglomérat CH1b et par un changement de couleur au contact CH3-CH2 ;
- l'unité chaotique **CH4** recouvrant en discordance l'unité CH3.

Le loess CH5a, qui repose en discordance sur les unités CH4 ou plus anciennes, est recouvert de manière conforme par le lit de gravier CH5b.

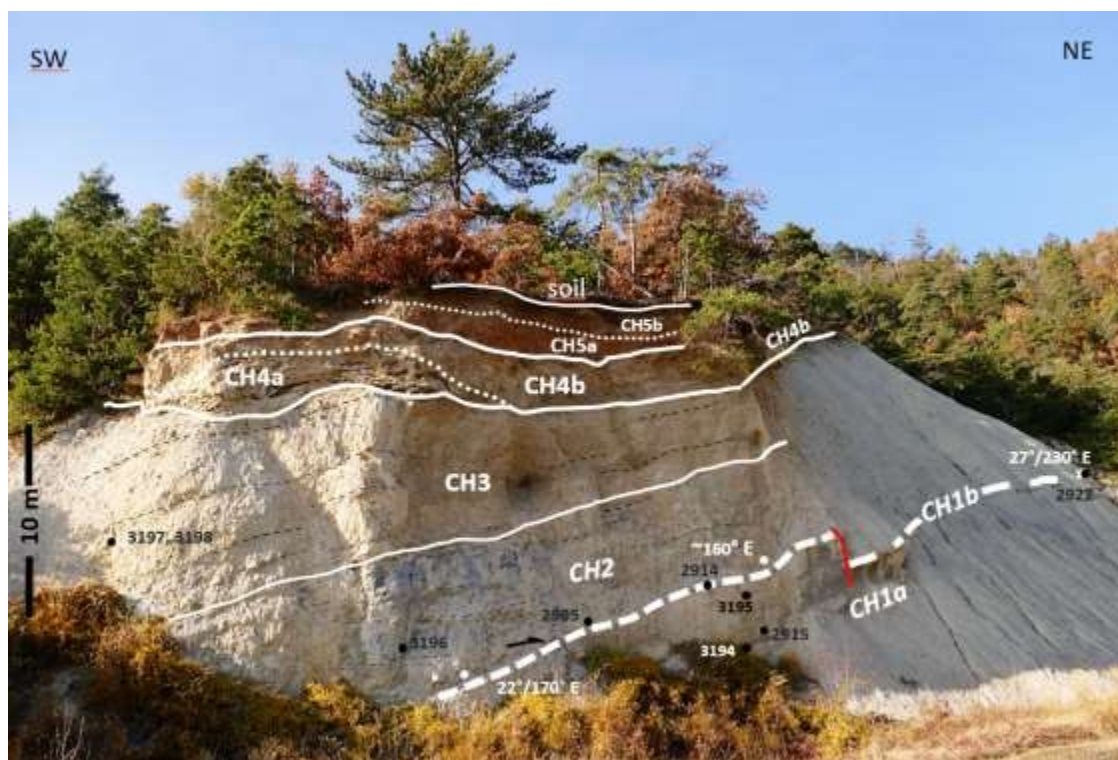


Fig. 4 Stratigraphie du corps CH (discuté dans le texte). La flèche noire indique le "pseudo-onlap" de CH2 sur CH1b. Les numéros se réfèrent aux échantillons analysés. Coordonnées UTM 2'600'730/1'124'430.

4.3.2 Sédimentologie et pétrographie

La stratigraphie et la structure de la masse CH de SD sont représentées sur la Fig. 4, tandis que leurs caractéristiques sédimentologiques sont détaillées sur la Fig. 5.

La sous-unité **CH1a** est un empilement de DFD gris-beige, légèrement indurés, composés de calcaire et de galets subordonnés de calcite et de quartz laiteux inclus dans une matrice gravelo-sableuse-argileuse (Fig. 6b, 7 et 8). Outre la fraction argileuse dominante, cette dernière comprend des microcristaux de calcite authigène, des minéraux dérivés des moraines RG (quartz clair, rare biotite fraîche, muscovite, tourmaline et zircon) et des clastes de quartz laiteux, de calcaire gris, de calcite, de calcaires arrondis à grain fin gris foncé, de calcschistes, de grès quartzeux à grain fin, de gneiss et de granodiorite. La composante calcaire provient du Jurassique inférieur de la Nappe de Wildhorn, le grès du Bajocien de la même nappe, le calcaire sableux des Couches de St Christophe du Penninque (Badoux et al. lit. cit.). Les argilo-minéraux indéterminés n'ont évidemment pas pu être rattachés à une source particulière et/ou à des transformations tardives. Des restes de plantes, de gastéropodes et d'insectes sont présents en faible quantité (Fig. 18). Au sommet, des éléments plats de taille décimétrique sont alignés parallèlement à la stratification (Fig. 6a), une caractéristique connue dans les DFD (Corominas & al. 1996).

Le conglomérat **CH1b**, de composition similaire et d'une épaisseur de 5 à 10 cm, est mal trié et cimenté par de la calcite. Les générations micritiques précoces et spartiates ultérieures indiquent une exposition atmosphérique (environnement vadose, Scholle 1979) et des eaux courantes riches en carbonates, tout comme sa surface supérieure lisse (figures 6c et 6d).

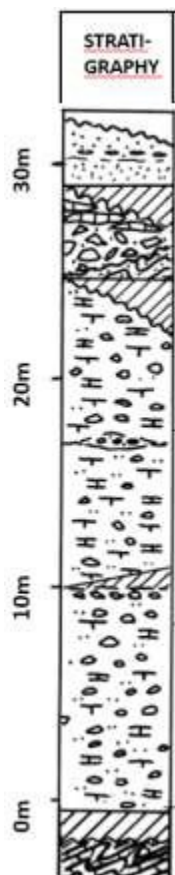
STRATI- GRAPHY	UNIT	LITHO- LOGY	SAMPLE	COMPOSITION			INTERNAL STRUC- TURE	LOWER CONTACT	ORGANIC REMAINS	INTERPRE- TATION
				clasts	matrix	cement				
	CH5b	gravel/sand	-	?	?	?	stratified, aligned pebbles	conformity	?	TD?
	CH5a	silt	SL 3126	Q, F, B, M, T	-	-	-	unconformity	rootlets	aeolian (loess)
	CH4b	MS gravel, C & Gr bould.	SL 2932	C, Cc, (Q) Gr	Cl+Q		chaotic, in- inverse grading	unconformity on CH3	plants	DFD
	CH4a	sand/ gravel	-	?	?	?	convolute	unconformity	?	TD?
	CH3b	MS sandy gravel	SL 3197, 3198	C, Cc, (Q)	Cl+Q	Cc (micro- crystals)	stratified,	conformity	plants wood	DFD
	CH3a	CS gravel, sand	-	?	?	?	none	conformity	?	TD
	CH2	MS sandy gravel	SL 3196	C, Cc, (Q)	Cl+Q	Cc (micro- crystals)	stratified,	« pseudo- onlap » on CH1b	plants	DFD
	CH1b	CS conglom.	SL 2905, 2922	C, Cc, (Q)	-	Cc	-	-	-	TD?
	CH1a	MS sandy gravel	SL 2915, 3194, 3195	C, Cc, (Q)	Cl+Q	Cc (micro- crystals)	stratified, (aligned pebbles at the top)	unconformity	plants, gastropods, ? insects	DFD
	Couches de St Christophe (Penninic substratum)									

Fig. 5 Propriétés principales des unités CH. C carbonate, Cc calcite, Q quartz, Gr granodioritique, Cl argile, CS supporté par des clastes, MS supporté par des boues. Le loess peut recouvrir n'importe laquelle des unités plus anciennes. Epaisseurs verticales.

L'unité **CH2** de 7 m d'épaisseur (figures 7, 9 et 10a) est un empilement gris-bleu de *DFD* d'épaisseur décimétrique, à granulométrie normale, comprenant quelques minces graviers soutenus par des clastes, interprétés comme des dépôts torrentiels (*TD*) (Recking et al. 2013 ; Beauchamp 2020). Les schistes aaléniens de la Nappe de Wildhorn sont très probablement à l'origine de la teinte bleue, que l'oxydation a superficiellement transformée en beige (Figs 4 et 10). Des clastes de grès rougis et des débris de plantes et d'insectes sont présents en petites quantités. Le "pseudo-onlap" de CH2 sur CH1b suggère une structure lobée.

L'unité **CH3** beige, légèrement indurée, se compose de la mince *TD* **CH3a** basale (fig. 10a) et de l'empilement **CH3b** de *DFD* (fig. 10) de 4 à 12 m d'épaisseur qui est similaire à CH2 dans tous ses aspects pétrographiques et sédimentologiques (fig. 7). L'oxydation supposée omniprésente n'a pas encore été démontrée. La matrice comprend des clastes rougis et de rares restes de plantes dont un morceau de bois (Fig. 18).

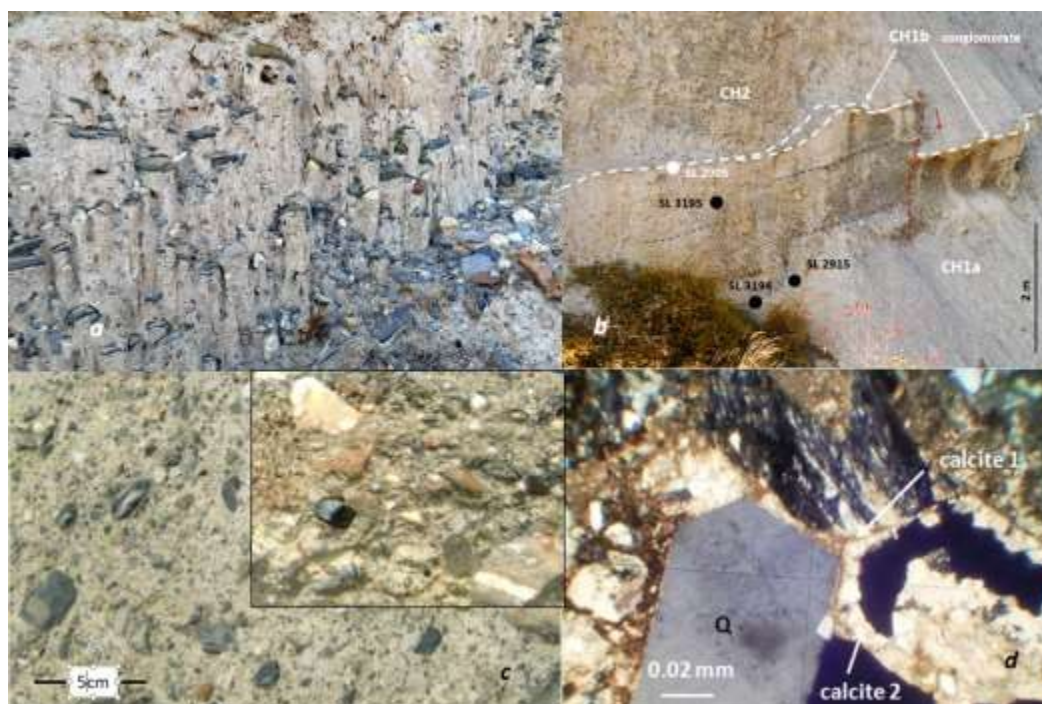


Fig. 6 *a* Alignement de galets au sommet de CH1a ; *b* Sommet stratifié de CH1a. Pliage et fracturation de CH1b ; *c* Surface supérieure lisse et surface inférieure rugueuse (encadrée) de CH1b ; *d* Ciment micritique (calcite 1) et sparitique (calcite 2) de CH1b.

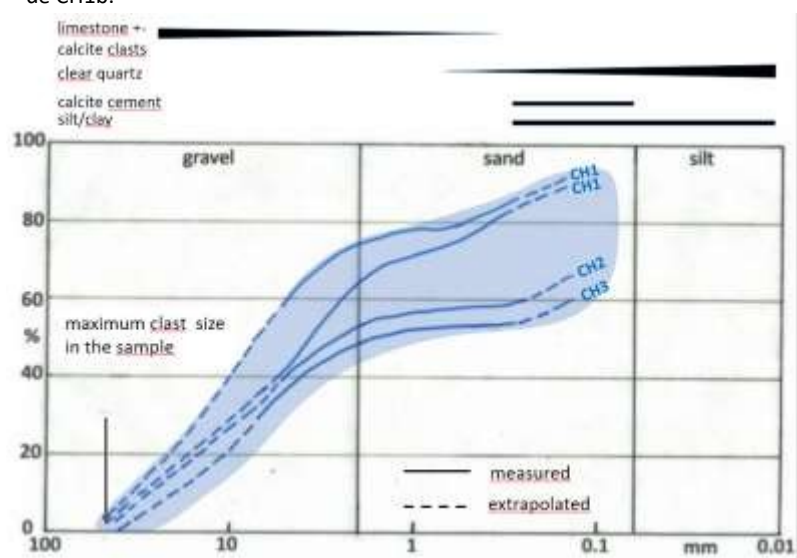


Fig. 7 La forme largement logarithmique des courbes de classement des graviers CH suggère un transport en vac de type "debris-flow" (Tricart 1965). L'épaisseur des lignes noires exprime l'abondance du (des) composant(s).



Fig. 8 CH1a. Rare galet calcaire noyé dans une matrice gravelo-sableuse-argileuse.



Fig. CH2. Oxydation superficielle et desquamation.

La lentille **CH4a** gris-beige inaccessible, d'une épaisseur allant jusqu'à 2 m, de sable/grès contorsionné est interprétée comme une tranche partiellement cimentée de la terrasse de kame (Fig. 10b).

Le membre **CH4b** sus-jacent est composé de

- *DFD* chaotique de 1 à 4 m d'épaisseur, gris-beige, constitué de blocs et de galets noyés dans une matrice similaire à celle de la *DFD* sous-jacente. La gradation inverse observée en un point (Fig. 11) est une caractéristique connue de la *DFD* (Nemec & Steel 1984 ; Costa 1984). L'incrustation de calcite lissée sur les clastes indique un remaniement, peut-être des clastiques cimentés de la terrasse de kame ;
- une imbrication sus-jacente de dalles de calcaire sableux de taille métrique arrachées aux Couches de St Christophe et de granodiorite RG et de blocs/cailloux de gneiss dérivés de la moraine RG (Figs 10c et 12), dont la disposition structurale indique clairement le sens de la mise en place.

L'unité brune **CH5**, d'une épaisseur de 4 m, est composée d'une couche basale de silt **laessique** brun (**CH5a**) recouverte d'un sable graveleux inaccessible (**CH5b**) avec des galets alignés parallèlement au contact basal (Fig. 10d).



Fig. 10 *a* TD CH3a de 20 cm d'épaisseur ; *b* Lentille CH4a déformée ; *c* Dalles de calcaire sableux imbriquées et blocs RG au sommet de CH4b ; *d* Lœss CH5a et gravier CH5b sus-jacent.



Fig. 12 CH4b. Plaque de calcaire sableux imbriquée et bloc de granodiorite.



Fig. 11 DFD CH4b à gradation inverse sous une dalle de calcaire sableux.

4.4 Valençon

4.4.1 Description générale et structure

A Valençon, Burri (1958) mentionne des "moraines non stratifiées" d'environ 30 m d'épaisseur, probablement déposées par des glaciers locaux. Morphologiquement, le corps du VAL est un bombement allongé atteignant peut-être le plancher du RV (Fig. 2). Le *DFD* constitutif et le *TD* subordonné, dont le pendage est d'environ 25° vers le SE, sont exposés sur une falaise post-loess de 220 m de long (Fig. 13) et s'étendent sur 630 m entre 700 et 630 m d'altitude (Fig. 2, 13 et 14). Les pendages des couches de substrat exposées à proximité varient de 40° à 50° et sont dirigés vers le SE, tandis que leur surface érodée présente un pendage d'environ 20° dans la même direction.



Fig. 13 Empilements VAL1 et VAL2 de *DFD* et *TD* subordonnés, inclinés vers le bas et recouverts en discordance par VAL4. Coordonnées UTM au centre de la falaise 2°602'270/1°124'590.

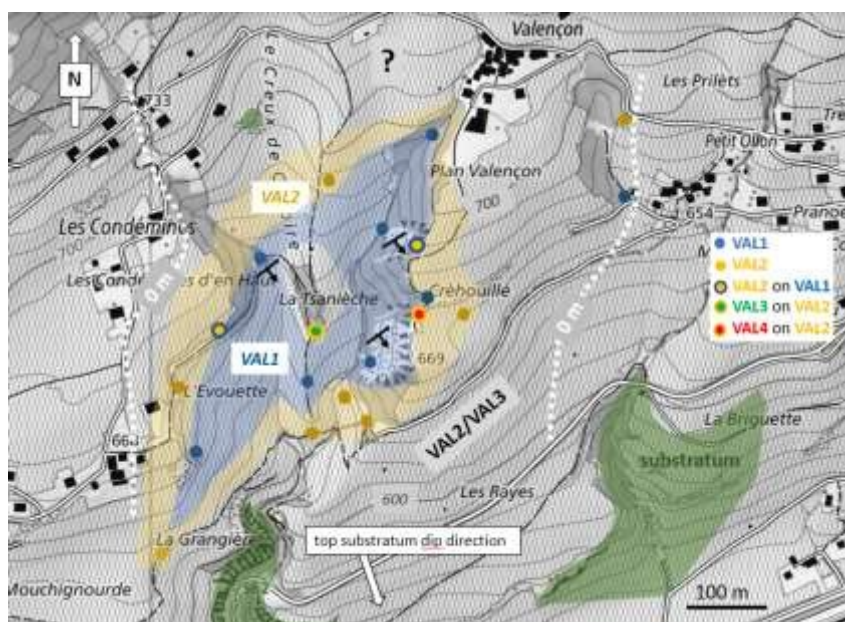


Fig. 14 Carte géologique du corps du VAL avec des points de contrôle stratigraphiques sélectionnés (points colorés) et des isochores de 0 m (lignes blanches pointillées de 0 m, de la surface actuelle au substratum supérieur présumé et lissé). L'extension septentrionale du corps est inconnue, tandis que l'extension méridionale atteint probablement le plancher du RV. VAL3, identifié sur un éperon séparant deux ravins, peut être présent sur VAL2 sur les côtés ouest et est du corps, sous le sol du vignoble.

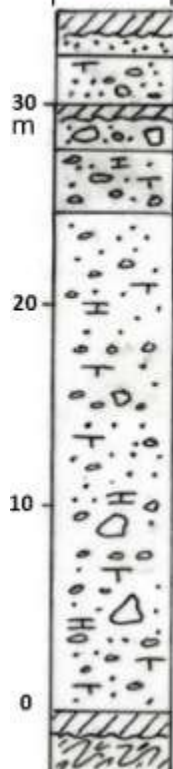
STRATI- GRAPHY	UNIT	LITHO- LOGY	SAMPLE	COMPOSITION			INTERNAL STRUC- TURE	LOWER CONTACT	ORGANIC REMAINS	INTERPRE- TATION
				clasts	matrix	cement				
	VAL4b	brownish silt	SL 3204	Q, Ff, M, B, T	(Cl)	-	none		aeolian (loess)	
	VAL4a	gravelly clay	SL 3203	C, Csch, (Gr), Cc, B, M,	Cl		stratified (aligned pebbles)	unconformity	plants, gas-trop., insects	
	VAL3	MS beige sandy gravel	SL3118, 3120, 3180	C, Cc, (Q) & C, Gr, Gn blocks at the top	Cl+ Q		chaotic	conformity?/ transition ?	oxidized ? DFD	
	VAL2	MS beige sandy gravel CS gravel at the base	SL2936 3123-3125, 206	C, Cc, (Q)	Cl+ Q	Cc (micro-crystals)	stratified	conformity	pollens, rootlets, wood	DFD with TD at the base
	VAL1	MS bluish-grey sandy gravel	SL 3117, 3121, 3175, 3179, 3207, 3208	C, Cc, (Q) and rare C, Gn blocks	Cl+ Q	Cc (micro-crystals)	stratified	unconformity	plants, gas-tropods, insects	DFD
Couches de St Christophe (Penninic substratum)										

Fig. 15 Principales propriétés des unités VAL. C carbonate, Cc calcite, Q quartz, Gr granodioritique, Cl argile, CS supporté par des clastes, MS supporté par des boues. Les couleurs se réfèrent aux points de contrôle de la Fig. 14.

4.4.2 Sédimentologie et pétrographie

Le corps VAL, qui comprend les unités/empilements VAL1, VAL2 et VAL3 de *DFD* et de *TD* subordonnés, repose sur le substrat Penninic exposé à proximité et est recouvert en discordance par l'unité de gravier et de loess VAL4. Les principales caractéristiques sédimentologiques sont présentées dans la Fig. 15.

Conformément à l'interprétation des courbes granulométriques d'échantillons sélectionnés (Fig. 17), l'unité **VAL1**, monotone et gris-bleu, est un empilement de *DFD* d'un décimètre d'épaisseur (Fig. 13 et 16). Son sommet est défini par l'avènement de la *TD* grossière VAL2 basale, qui coïncide avec un changement de couleur vers le beige. Une certaine gradation inverse est observée. Les composants grossiers sont principalement centimétriques, rarement décimétriques et exceptionnellement métriques (gneiss, calcaire, granodiorite altérée) et comprennent principalement des calcaires anguleux grisâtres avec quelques calcschistes, de la calcite filonienne, du gneiss, de la granodiorite et du quartz laiteux (Fig. 17). La matrice sablo-argileuse comprend du quartz clair, des microcristaux de calcite authigène et quelques cristaux de pyrite non altérés. Ces derniers ont probablement été hérités du schiste aalénien de la nappe de Wildhorn (Massaad 1973) qui a également fourni l'argile gris-bleu. De rares restes de plantes, de gastéropodes et d'insectes sont également présents dans la matrice (Fig. 18).

L'unité **VAL2** beige, de 0,5 à 3 m d'épaisseur, repose de manière conforme sur l'unité VAL1 (Fig. 17) et sa composition est similaire à celle-ci, mais elle comprend des lits de composants plus grossiers. Le *TD* basal est principalement constitué de galets et de cailloux calcaires arrondis, parfois alignés (Fig. 16b). La couleur beige semble être omniprésente, ce qui impliquerait que l'oxydation a eu lieu avant la mobilisation des débris. Localement, le sommet d'érosion de VAL2 a subi une altération calcique qui n'a pas été étudiée plus avant (Fig. 13). Les restes organiques comprennent des pollens, des brindilles et quelques rares bois carbonisés. Des galets et des grains fréquemment incrustés indiquent que des dépôts plus anciens ont

également été mobilisés.

L'unité **VAL3** chaotique beige, peu exposée et épaisse de quelques mètres, se compose de blocs de calcaire, de gneiss, de granodiorite et de granite fraîchement ou altérés, de taille décimétrique à métrique, noyés dans une matrice gravo-sableuse-argileuse.



Fig. 16 a VAL1 DFD ; b VAL2 TD basal grossier et contact discordant avec VAL4.

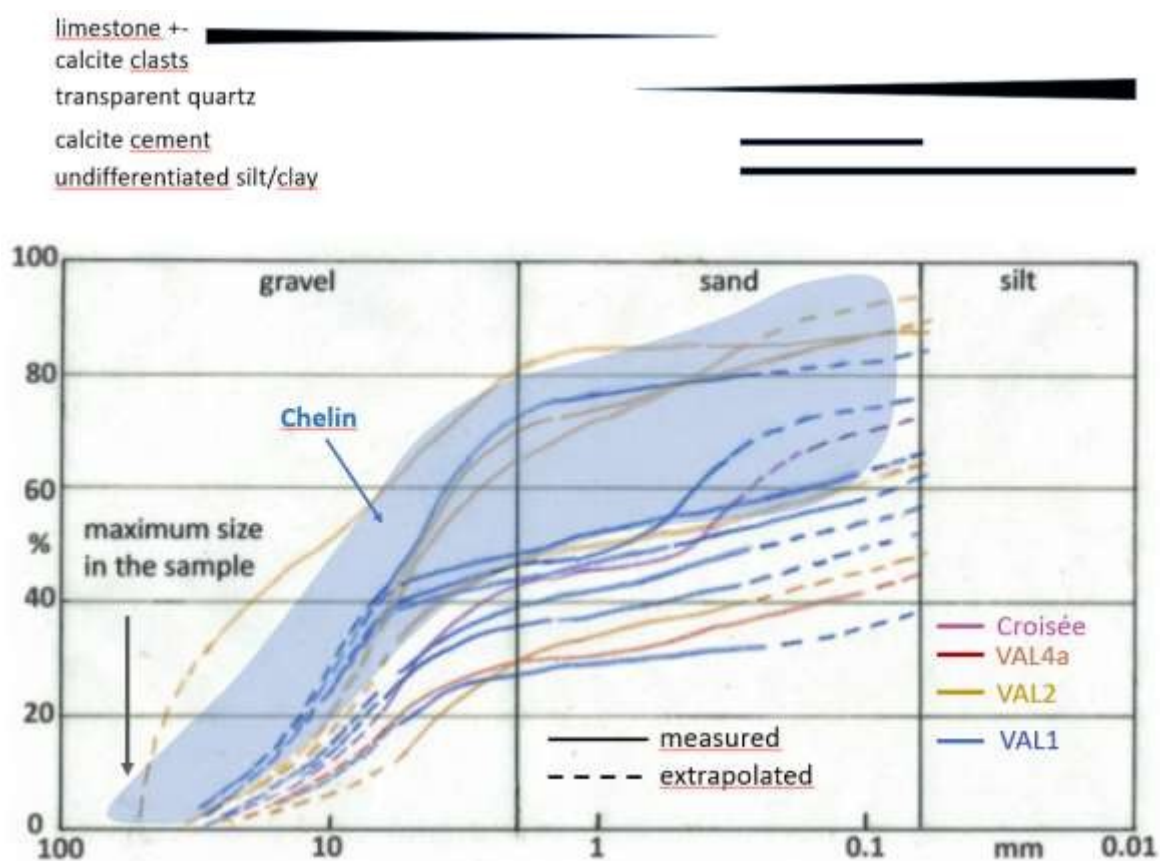


Fig. 17 Courbes de gradation du VAL et du Croisée DFD. L'épaisseur des lignes noires exprime l'abondance du (des) composant(s).



Fig. 18 Restes organiques CH et VAL. *a* Brindille ; *b* Débris végétaux non spécifiés ; *c* Gastéropode, *d* Insecte.

VAL4a est une argile graveleuse brune de 0,8 m d'épaisseur, avec des galets alignés parallèlement à la discordance basale. La forme de sa courbe granulométrique suggère qu'il s'agit également d'un *DFD* (Fig. 17). Les gros clastes (jusqu'à 10 cm) comprennent des calcaires, des calcschistes et de rares quartz laiteux, tout comme ceux de la fraction sableuse. La plupart des galets et des grains sont incrustés de calcite. Les abondants restes de gastéropodes et de plantes comprennent également une chrysalide d'insecte. Le quartz clair, la biotite, la muscovite et la tourmaline dans la fraction silteuse peuvent annoncer le dépôt du loess VAL4b.

Le limon **loessique VAL4b**, mince (0,3 m) et sus-jacent, repose de manière conforme sur le VAL4a. De rares clastes de calcaire et de calcschiste ainsi que des restes de plantes et de mollusques, peut-être hérités de VAL4a, sont associés aux minéraux typiques du loess.

4.5 Croisée

L'exposition de la Croisée, haute de quelques mètres, est constituée de *DFD* gris-bleu, superficiellement gris-beige, de type VAL1 (Fig. 17), qui comprennent des restes de plantes et d'insectes, ainsi que des gastéropodes de taille centimétrique. Un équivalent VAL3 a probablement aussi été déposé, comme le suggèrent les nombreux blocs de granodiorite et de gneiss à l'intérieur des murs du vignoble.

4.6 Flanc nord : discussion et conclusions

Les dépôts

Les corps CH et VAL se composent principalement d'empilements monotones (CH1, 2, 3 ; VAL1, 2) de lits de graviers soutenus par des boues, y compris des traînées/lits de graviers subordonnés soutenus par des clastes, interprétés comme des *TD*. Caractérisés par un pendage vers le bas, une granulométrie normale et rarement inverse, des courbes de granulométrie logarithmiques et un approvisionnement principalement local, les GMS sont interprétés comme des *DFD* selon Tricart cité ; Costa 1984 ; Coussot et al. 1996 ; Corominas et al. 1996 ; Sohn et al. 1999 ; Leleu 2005 ; Cojan et al. 2006 ; Chambon et al. 2013 ; Bardou et al. 2013 ; Silhan et al. 2010 ; Novak et al. 2018.

Les piles CH et VAL de *DFD* sont toutes deux recouvertes par une couche de gravier chaotique soutenu par de la boue (CH4b et VAL3) également interprétée comme *DFD*. À CH, cette dernière recouvre un sable/grès contorsionné interprété comme une tranche de terrasse de kame et repose sur une imbrication de blocs RG et de dalles de substrat arrachées à la surface par une inondation catastrophique à chasse d'eau. Les *DFD* oxydés, de couleur beige omniprésente, sont enrichis en composants de moraine RG tels que des grains de quartz clair, du gneiss et des blocs de granodiorite frais et altérés.

La composition pétrographique de tous les *DFD* et *TD* est largement similaire, avec une large prédominance

des composants calcaires.

Environnement et processus de dépôt

Bien que les caractéristiques morphologiques ne soient pas identifiées, les corps CH et VAL sont interprétés comme des vestiges de cônes alluviaux individuels, ce qui expliquerait l'origine locale, les pendages vers le bas, la nature des dépôts (principalement des empilements de *DFD*), la structure lobée de CH, les similitudes avec des cônes confirmés sur le côté opposé du RV et la présence de *SD* sous le plancher du RV sur les données sismiques à proximité (Besson et. al. lit. cit.).

La mise en place du VAL *DFD* était un processus plutôt continu, tandis que celle des CH a été interrompue par des iatus liés à la cimentation du conglomérat CH1b, au pseudo chevauchement CH2 sur CH1b et au changement de couleur probable au niveau du contact CH3-CH2. En l'absence de preuves supplémentaires, l'origine de ces différentes histoires de dépôt reste spéculative.

Extension des ventilateurs

L'extension latérale originelle des cônes est inconnue mais a très probablement dépassé l'extension actuelle. Les zones inter-ventilations, dont la composition du sol reflète celle des ventilateurs (Canton du Valais 2007), étaient peut-être couvertes par des *DFD* non confinés, à moins que les ventilateurs hypothétiques ne soient totalement érodés. Les éventails CH et VAL se sont très probablement étendus jusqu'au-dessous du plancher du RV, comme le suggèrent leur épaisseur importante et la composition du sol du vignoble adjacent au plancher du RV.

Sources sédimentaires et climat

La composition pétrographique de tous les *DFD* et *TD* indique que les formations de la nappe de Wildhorn en sont la principale source primaire. Les empilements monotones et épais de *DFD* ont dû nécessiter l'acheminement de grandes quantités de débris vers les différents éventails, un processus que les précipitations abondantes et la fonte des glaciers rocheux dans le pergélisol auraient permis. Ces derniers, dont on sait qu'ils se sont formés dans les Alpes entre 13 et 8 ka BP (Scapozza 2012), sont considérés comme des sources secondaires plausibles, même si leur emplacement et les canaux d'alimentation sont inconnus. La moraine RG et la terrasse de kame dispersées sur les pentes et le substratum ont agi comme des sources limitées qui ont pris de l'importance lorsque la source du glacier rocheux s'est épuisée.

Le climat chaud et humide est attesté par l'abondance de l'eau nécessaire à la génération de *DFD*, l'oxydation avant mobilisation des dépôts CH3 ?, CH4, VAL2 et VAL3 et la présence de restes organiques (insectes, mollusques, plantes), de blocs de granodiorite altérés et de clastes rougis.

Âge des fans

Le moment de la mise en place des éventails est mal défini entre la disparition de la RG et le dépôt du loess. La possibilité de réduire cette période à la transition entre la fin du glaciaire et le début de l'holocène est discutée au chapitre 5.5.

Déroulement des événements

L'érosion, le dépôt de loess et l'érosion ont suivi la formation des différents cônes.

5 Le flanc sud

5.1 Cadre géologique

Concernant la couverture quaternaire de cette zone, Burri (1997) indique qu' " il est probable que les masses érodées au-dessus des Fleurs (620-640 m) et peut-être de la colline des Ormeaux (715 m) bordent les rebords successifs de la RG ". Cette interprétation des dépôts quaternaires que Gabus et al. (2008 a et b) ont repris dans la feuille SGA 111 (Fig. 24a) est considérée comme erronée.

Le substratum est constitué de schistes graphitiques du Carbonifère, de méta-sables, de méta-conglomérats et d'antracite de la Zone Houillère (ZH), (Fig. 19a) (Christ 1925 ; Steck et al. 1999 ; Gabus et al. cit.).

Le cirque glaciaire du Val de Réchy (VR) - Le Tsan (TSN) et le volumineux SD accumulé en dessous de 900 m sont manifestement liés (Fig. 19b). A l'intérieur et le long du VR et du TSN affleurent des calcaires marmorisés et des marbres du ZH, des gneiss, des quartzites, des schistes chloriteux, des méta-conglomérats, des schistes quartzitiques, des dolomies cellulaires, des prasinites, des ovardites de la nappe de Siviez-Mischabel (SM), qui ont fourni l'essentiel du matériel du SD, et des schistes, des calcschistes et des marbres des formations de la nappe de Tsaté (TS) (Fig.19a) (Steck et al. cit. ; Marthaler et al. 2008). Les pendages plats/contre-pentes des couches combinés à un grand bassin versant, une forte fracturation alpine et un gel-dégel ont certainement favorisé la production massive de matériel clastique qui a constitué plus tard les cônes (Chap. 5.2).

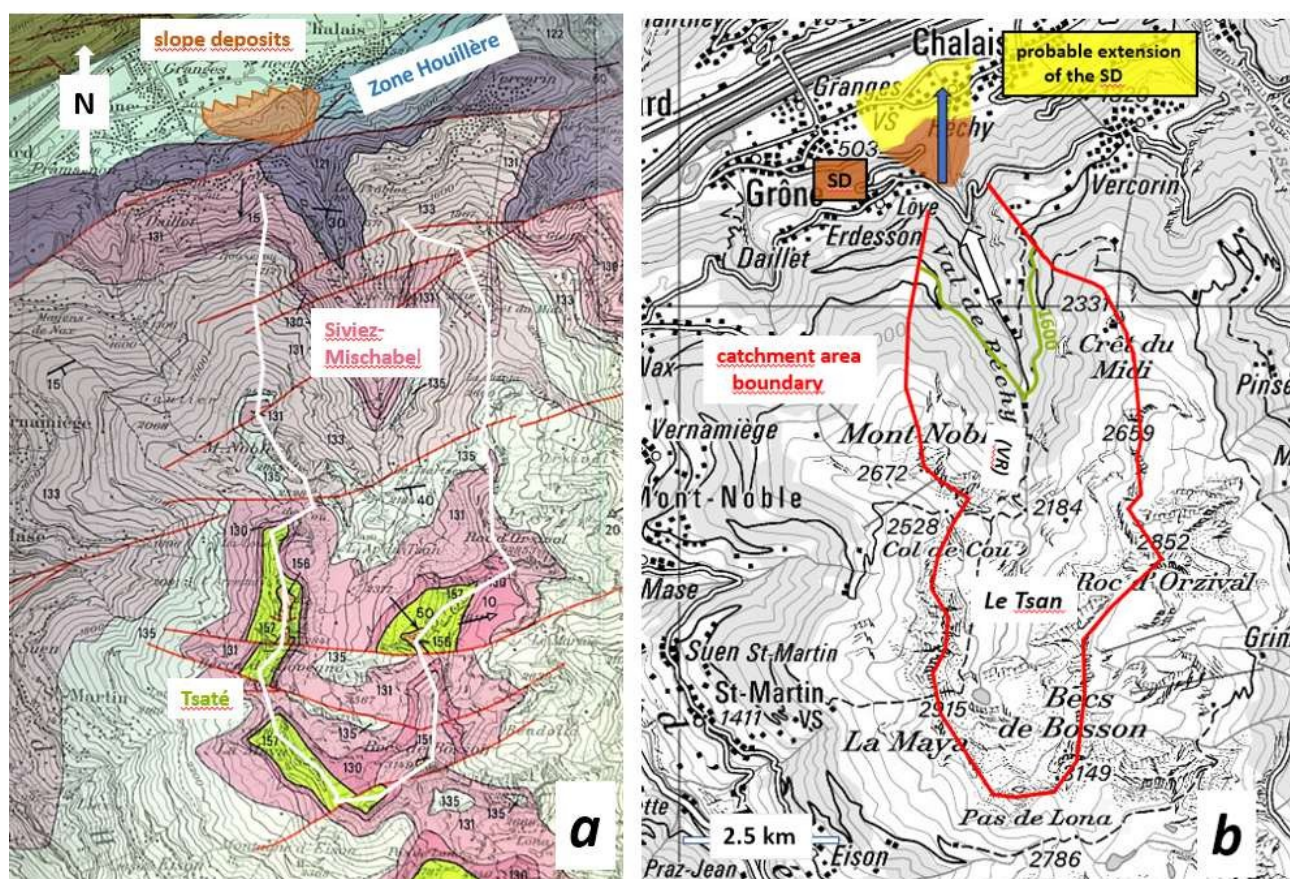


Fig. 19 a Cadre tectonique de la région (extrait de Steck et al. lit. cit.) en relation avec le SD étudié. La Zone Houillère (Carbonifère et Trias) est recouverte par la nappe SM, elle-même recouverte par la nappe TS.
 b Carte topographique de la même région. La gorge de Réchy (flèche bleue) incise le SD dans une direction S-N qui s'écarte de la tendance VR au-dessous de 1600 m (flèche blanche) (discussion au Chap. 5.2).

5.2 Morphologie

La morphologie de la zone étudiée se compose essentiellement de Creta Limbo (CL), Les Clous (CS), Les Fleurs + Les Ormeaux (FL+OR) de *SD* quaternaire qui sont séparées les unes des autres par les ravins pré-lacustres R1 à R10 (Fig. 20).

FL, la plus grande des trois unités, couvre actuellement une superficie d'environ 0,6 km² (projection verticale) de 500 à 900 m et présente la forme conique et l'intersection hémicirculaire avec le plancher RV caractéristiques d'un cône de déjection. Son flanc oriental est profondément entaillé par la gorge de la rivière Rèche (RR) ou le ravin R4. La tendance S-N de ce dernier, pour des raisons inconnues, s'écarte de la direction NW du Val de Réchy (VR, Fig. 19b), des ravins R1, 2, 5, 6, 7, 10 (Fig. 20a) et de la piste de glissement de terrain OR (Chap. 5.4.). Du côté ouest, la surface S9 de FL est tronquée par la surface plane S1 (associée à R1) dont les projections vers le haut de la pente sont tronquées par S4. Le FL est partiellement recouvert par le cône de déjection de Réchy qui s'est formé lors du creusement de la RR. Les gros blocs (jusqu'à des dizaines de mètres cubes) dispersés sur S4 et dans la gorge de la RR ont vraisemblablement été déposés sur la surface originelle de FL et redéposés ultérieurement.

Reposant sur le FL et caractérisée par des couches à contre-pente, l'unité **OR**, en forme de dalle, est le vestige d'un important glissement de terrain (Chap. 5.4 et Fig. 47). Elle est tronquée par les surfaces planes S2 et S3 encore préservées au sommet du cône des Ormeaux (Fig. 51) et par les falaises qui y ont été creusées ultérieurement.

Les unités contiguës **CL** (aujourd'hui effacées) et **CS**, interprétées comme des vestiges de cônes alluviaux, sont limitées par les ravins R5 à R8. Les selles aux extrémités méridionales de la CL tardive et de la CS actuelle, qui sont situées à des altitudes différentes, pourraient représenter les sommets originaux d'éventails distincts coalesçant vers le bas de la pente et s'emboîtant avec la FL. Avant son exploitation, **CL** était une langue imposante qui dominait le fond du RV de quelque 70 m (Fig. 19b), limitée par R6 et R7 dont la surface lisse S7 associée était encore visible au début des années 90 (Fig. 21). **CS** est une langue étroite aux flancs minces plutôt abrupts, dont la courte extension longitudinale résulte probablement de la fusion des ravins R1 et R8.

En résumé, en dessous de 1000 m environ, le paysage a été successivement façonné par le creusement des flancs du RV, la mise en place des cônes FL, CS et CL, leur érosion partielle, l'édification du cône de Réchy et la consolidation post-liquide.

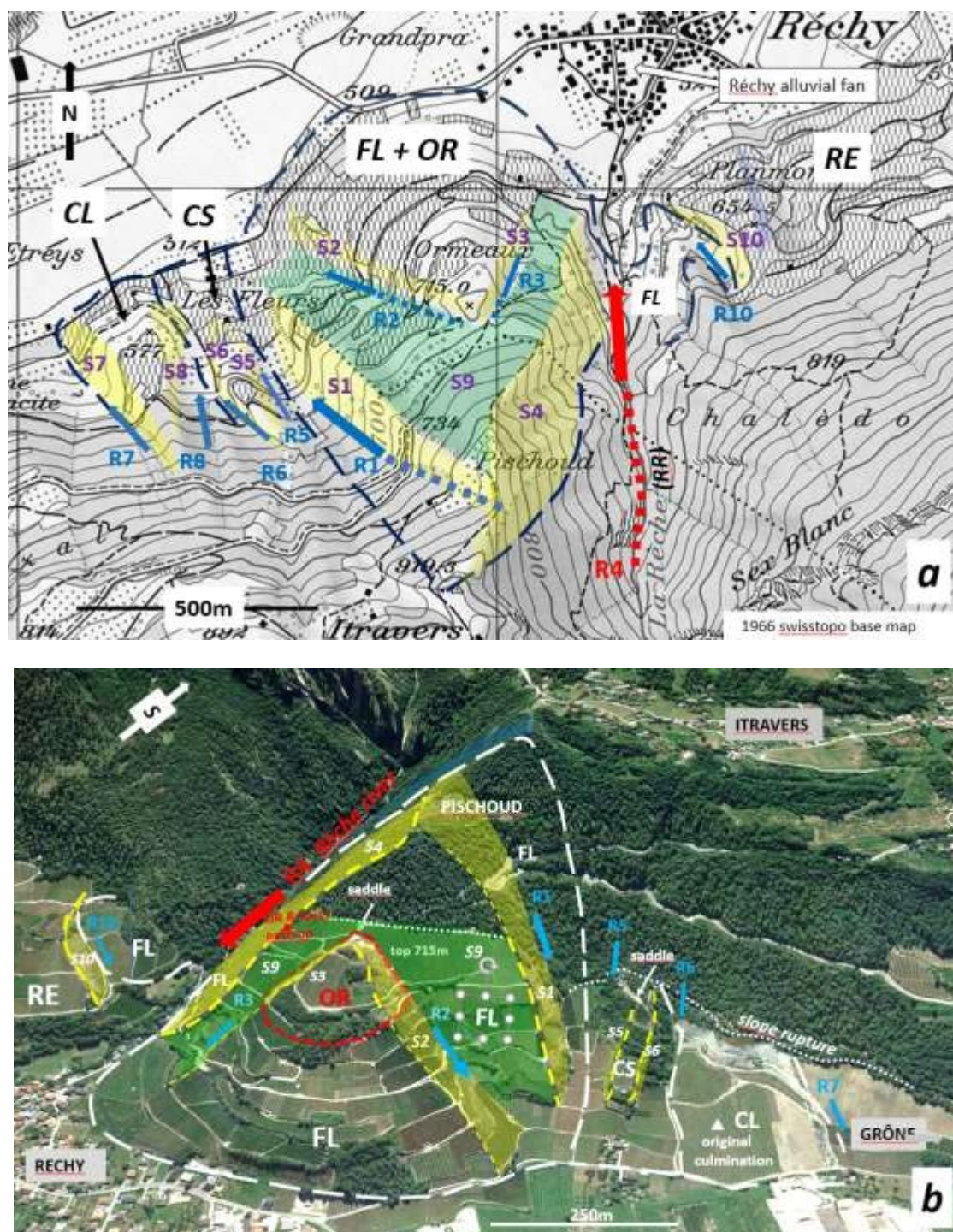


FIG. 20 *a* Limites des unités morpho-géologiques CL, CS et FL+OR (lignes pointillées bleu foncé). R1/S1 ... se réfèrent aux ravins et aux surfaces planes réelles ou résiduelles associées (en jaune) comme dans la Fig. 20*b*. RE signifie Réchy et couvre la zone située entre la limite orientale de FL et la carrière de Tsararogne (Fig. 1). Vue latérale de Google Earth.

b Vue latérale Google Earth du flanc S investigué. Mêmes éléments que ci-dessus avec ajout des cuestas (lignes jaunes en pointillés, épaisses si elles sont nettes).

En dessous de 700 m, de la bordure orientale de la FL aux carrières de Chalais et de Tsararogne, le flanc est moins accidenté en raison de la minceur générale de la couverture quaternaire que Gabus et al. (lit. cit.) ont étiquetée "Moraine de la dernière glaciation" sur la feuille 111 de la SGA (Fig. 1 et 23). Selon les observations non publiées de l'auteur, cette couverture est constituée de SD et non de moraine, ce qui concorde avec les graviers et sables à pendage descendant signalés par Burri (1997) dans ces carrières, mais qu'il associe à la RG.

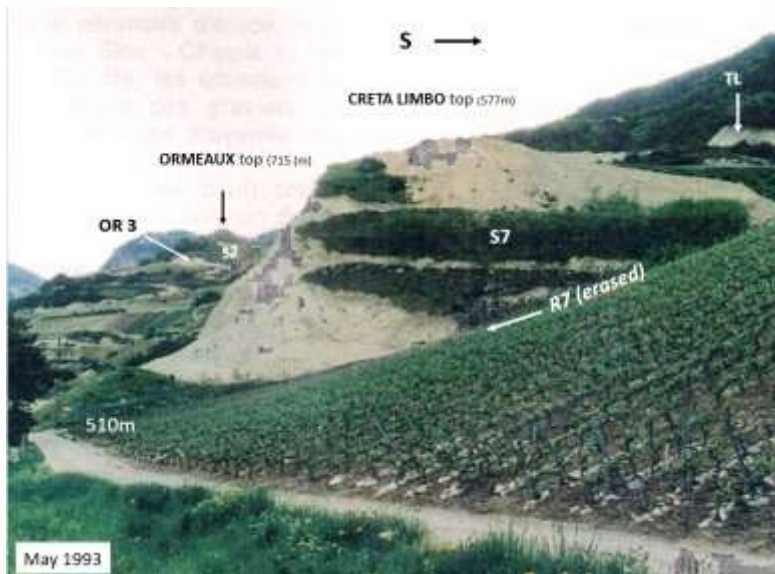


Fig. 21 Le flanc occidental plan tranché S7 de CL, dont l'âge pré-loess est attesté par la présence de loess en altitude.

5.3 Géologie des unités Creta Limbo, Les Clous et Les Fleurs

Si le contrôle géologique superficiel est satisfaisant, la structure et la sédimentologie en profondeur sont inégalement, voire mal contrôlées (Fig. 22).

5.3.1 Description générale et structure

Avec leur SD constitutif plongeant vers le N-NW, l'éventail **FL** et les vestiges d'éventail **CL** et **CS** s'épaississent et s'élargissent vers le bas de la pente et contribuent certainement au remplissage du RV (fig. 23 à 28). Dans le cas de l'éventail CL, les écarts par rapport à ces directions suggèrent une structure lobée (figures 29 et 30). En dehors du glissement de terrain OR, les surfaces des cônes sont lisses et perturbées par quelques failles superficielles seulement (Fig. 31 et 32).

Comme le suggèrent les projections horizontales de ses collines émergentes contre le versant, le glissement de Sierre (SL) surplombe très probablement les cônes (Fig. 26). Si ce n'était pas le cas, le paléo-Rhône n'aurait pas pu déposer d'alluvions à la surface du glissement (Burri 1997), car il se serait écoulé dans la dépression située entre le glissement et le versant (et dans d'autres dépressions). On ne sait pas si SL se trouve en dessous ou au-dessus de l'éventail de Réchy.

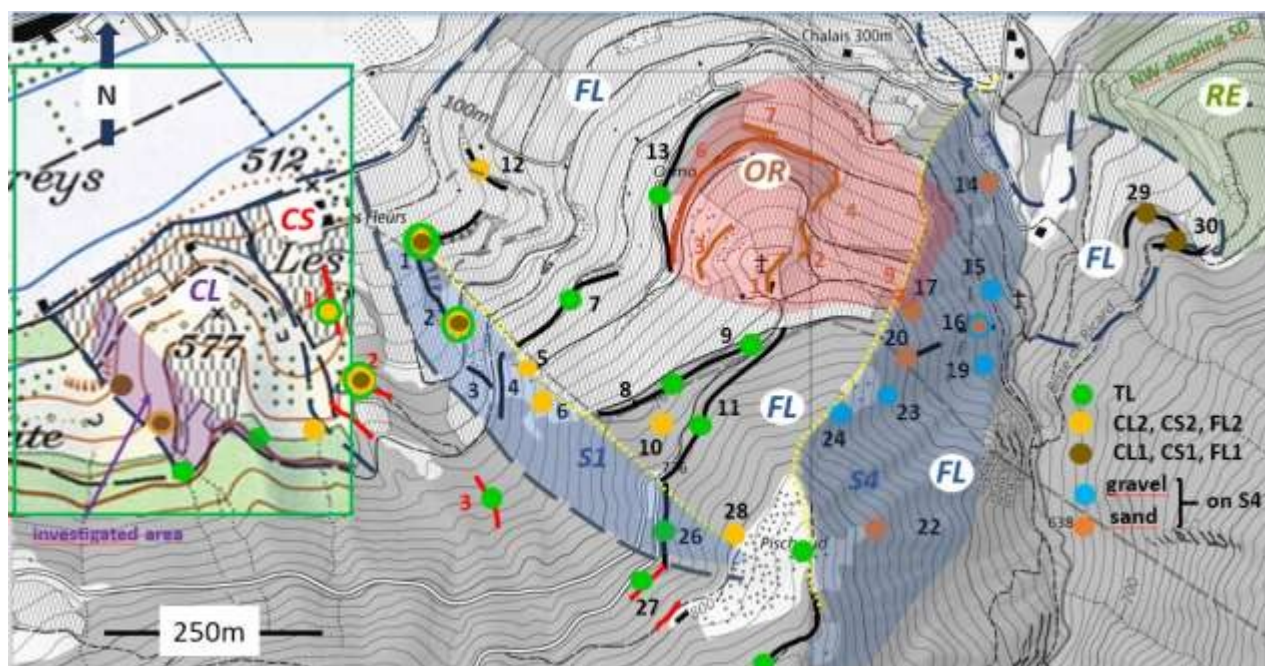


FIG. 22 Distribution et numérotation des expositions CL, CS, FL et OR. Elles sont représentées par des lignes épaisses si elles sont grandes et par des points si elles sont petites. Les unités/lithologies exposées sont identifiées par la couleur des points. 2017 swisstopo base, 1966 dans le cadre vert.

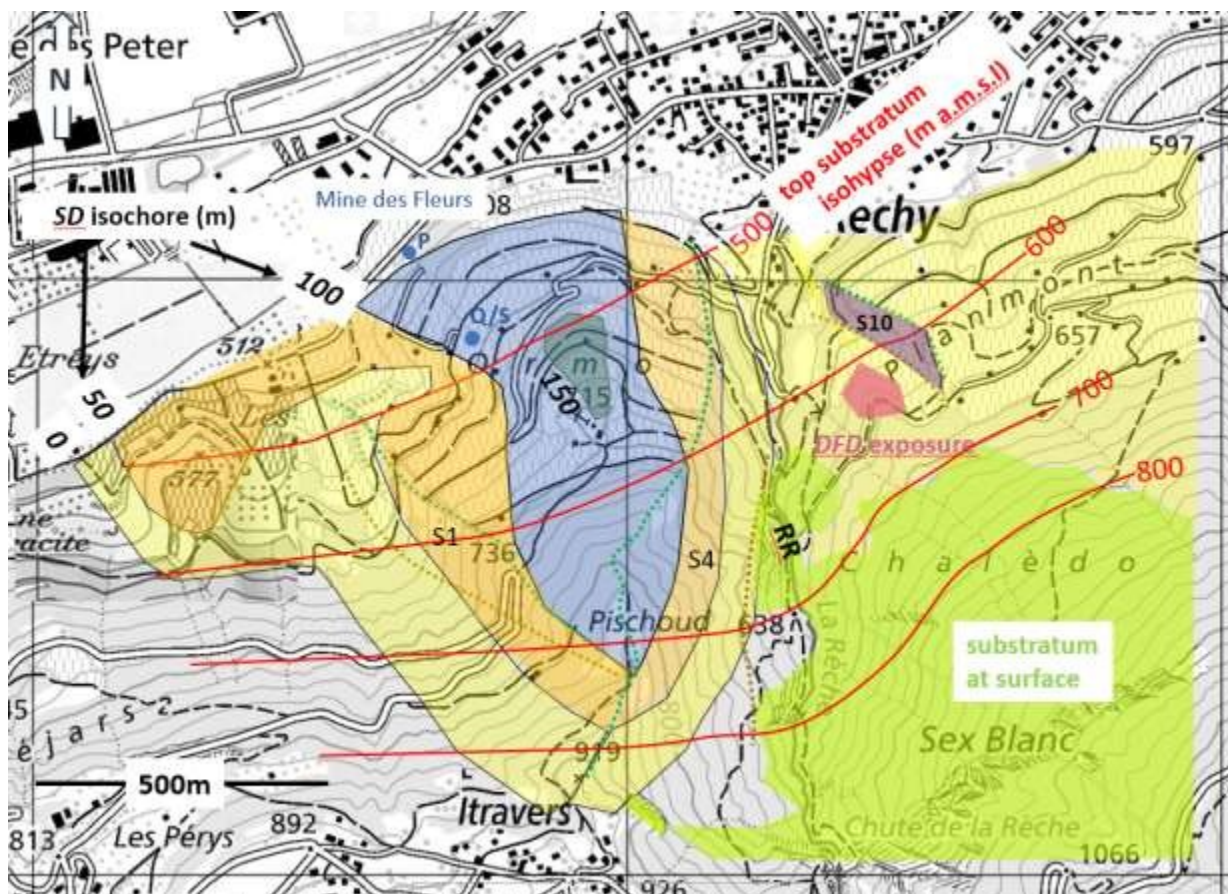


Fig. 23 Isochores approximatifs de la couverture quaternaire. Les surfaces d'érosion planes S1 et S4 sont délimitées par des cuestas (points verts) et des fonds (points bruns). A l'est de la RR, l'épaisseur de la couverture est bien inférieure à 50 m, l'exposition DFD marque la limite orientale de l'éventail FL et la surface S10 est constituée de couches de graviers grossiers parallèles à la pente en dehors de FL. La ligne bleue pointillée P à Q/S est le tracé approximatif de la galerie de la mine de charbon Les Fleurs où, selon Gabus et al. (lit. cit.), quelque 75 m de Quaternaire recouvrent le substratum. Ce chiffre, probablement inexact, n'a pas été pris en compte en raison du "fort" lissage des isochores et des isohypses du substratum supérieur (Fig. 24). 2017 base swisstopo, 1966 sur l'éventail CL (comme dans la Fig. 22).

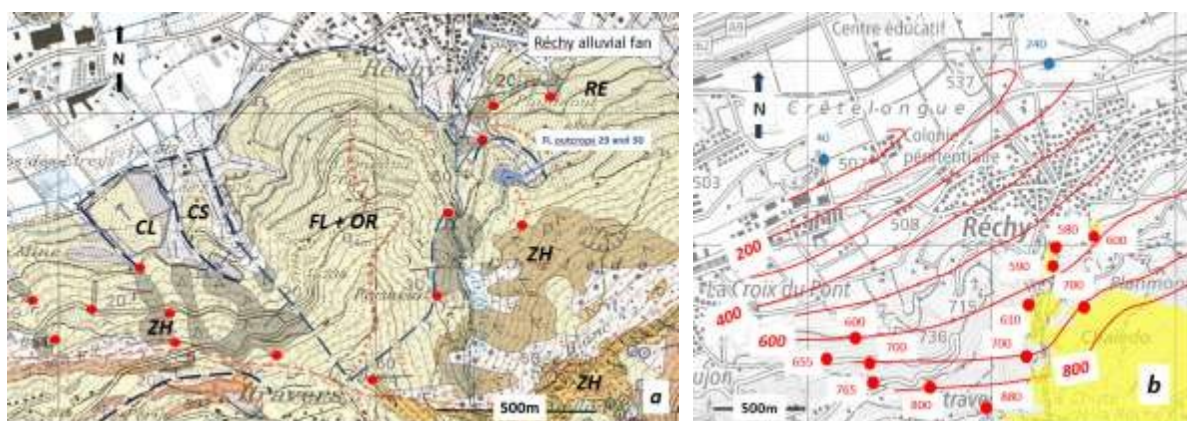


Fig. 24a Extrait de la feuille SGA 111 avec les limites des unités SD (lignes bleues pointillées) et la localisation (gros points rouges) des contacts Quaternaire-substratum utilisés pour construire les isohypses du substratum supérieur de la Fig. 24b. Zone vert pâle : moraine de la dernière glaciation avec des vallums (petits points rouges alignés) qui sont en fait des cuestas.

b Isohypses lissées (m) du substratum supérieur obtenues par le contournement d'une grille lâche d'altitudes gravimétriques de l'axe RV (points bleus, Rosselli et Olivier cit.) et d'altitudes des contacts Quaternaire-substratum (points rouges). Le nuage jaune montre le substratum à la surface le long et à l'E du RR.

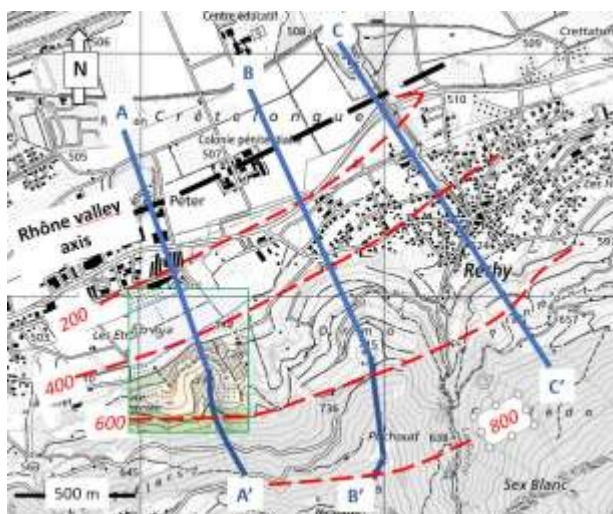


Fig. 25 Tracés (lignes bleues) des coupes géologiques de la Fig. 26. Les lignes rouges pointillées représentent les isohypses du substratum supérieur. 2017 swisstopo base, 1966 sur l'éventail CL.

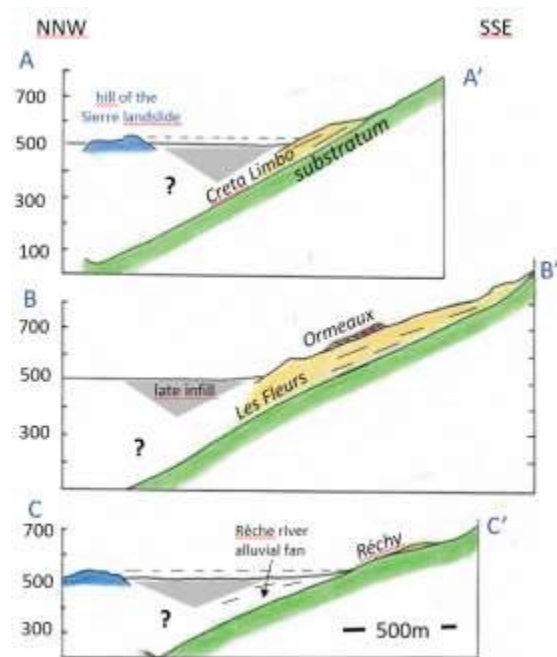


Fig. 26 Coupes géologiques le long des traces de la Fig. 25. La couverture SD est colorée en jaune, la dalle des Ormeaux en brun. Les projections horizontales (lignes noires pointillées) des collines SL entrent en contact avec l'éventail de Creta Limbo et la mince SD de Réchy.



Fig. 27 Pente nord du DFD de CL1 dans la tranchée de CL. Bloc de gneiss de ~3 m de large.

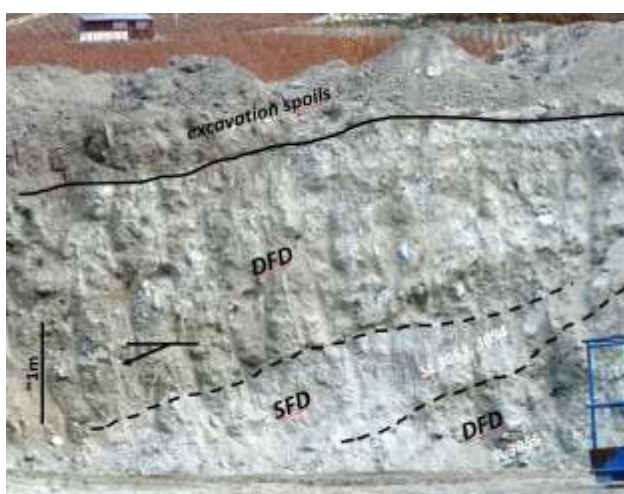


Fig. 28 Pente nord de la CL1 DFD et du SFD intermédiaire. Extrémité nord de la tranchée CL.



Fig. 29 Directions de plongée divergentes de la DFD CL1.



Fig. 30 Directions d'immersion DFD variables (flèches bleues) sur le front d'exploitation de CL.



Fig. 31 Séquence superficielle à trois membres du FL et faille post-loess tardive. Exposition FL 1, Fig. 22.



Fig. 32 Faille superficielle. Exposition CS 2, Fig. 22.

5.3.2 Stratigraphie, sédimentologie et pétrographie

La séquence stratigraphique exposée - épaisse pour CL, fine pour CS et FL - est composée de bas en haut :

- un empilement de DFD (CL1, CS1 et FL1) avec des dépôts sablo-limoneux (SFD) et TD subordonnés, recouverts de manière conforme par
- une couche de SFD (CL2, CS2, FL2) recouverte de manière conforme/disconforme par
- une couche supérieure (CS) composée de couches chaotiques, non stratifiées / grossièrement stratifiées (CSa), recouverte de manière conforme sur la FL par des graviers stratifiés / non stratifiés (CSb).

Ces membres partagent à la fois la lithologie et les courbes granulométriques, la forme logarithmique des graviers étant caractéristique de la DFD et la forme sigmoïde des sables indiquant une accumulation libre (Tricart cité) (Fig. 33). Les sources et les processus sont donc communs à tous les dépôts.

La partie non exposée des éventails, y compris sous le plancher de la VR, est vraisemblablement constituée de dépôts analogues à ceux rencontrés dans la tranchée CL et exposés sur son front d'exploitation (fig. 22, 27 et 30). Les affleurements isolés des surfaces S1, S2 et S4, qui couvrent une grande partie de la section interne du FL, n'infirmen ni ne confirment cette hypothèse (Fig. 22).

Le DFD

Le membre **CL1** atteint une épaisseur de 70 m sur le front de carrière (Fig. 30) et de 20 m dans une tranchée latérale (base non exposée dans les deux cas). Dans cette dernière, il s'agissait d'un empilement de *DFD* d'un décimètre d'épaisseur comprenant des couches de *SFD* et des lits (Fig. 28 et 34), un seul conglomérat *TD* d'un mètre d'épaisseur (Fig. 35) et une argile sableuse d'un décimètre d'épaisseur près de la base. Volumétriquement insignifiantes, ces deux dernières lithologies illustrent simplement la variété et la complexité des processus impliqués dans la construction des ventilateurs.

Les plus minces, **CS1** et **FL1**, de moins de 10 m d'épaisseur, n'ont pas de *DFS* intermédiaire mais sont respectivement recouverts par une couche de *TD* (Fig. 36) et par une alternance de gravier et de sable de 3 m d'épaisseur.

Les composants de taille centimétrique à décimétrique, rarement métrique (jusqu'à des dizaines de tonnes dans CL1, Fig. 27) comprennent des schistes chloriteux anguleux, des gneiss, des prasinites, des quartzites massifs et schisteux (certains avec du quartz rose), des gneiss et des micaschistes sub-anguleux, des calcaires arrondis (recristallisés/marmorisés), de rares serpentinites, des métaconglomérats et des calcaires carbonifères grattés sur le substratum.

La matrice argileuse-sableuse-graveleuse est constituée des produits de désintégration des composants grossiers et des minéraux argileux. La quantité de quartz, de chlorite, de muscovite, de magnétite et de rutile augmente avec la diminution de la taille des grains (Fig. 33). Conformément à la faible induration, la calcite est détritique.

A l'est de la gorge de la RR, aux affleurements 29 et 30 (Fig. 22), un empilement *DFD* grossièrement stratifié de 6 m d'épaisseur (Fig. 34d et 37) est recouvert par 0,5 m de silt argileux gris et 0,6 m de gravier TL chaotique, lui-même recouvert en discordance par un lœss caillouteux (Fig. 38).

Les cailloux et galets DFD comprennent des quartzites, divers gneiss, des chlorites et des micaschistes et sont fréquemment incrustés de calcite. Leur matrice est composée de lithologies similaires, avec de l'argile blanche (kaolinite ?), du quartz translucide/clair et des quantités mineures de magnétite, de rutile, de chlorite et de calcite concentrées dans la fraction inférieure à 0,1 mm. Des restes de plantes et d'insectes sont fréquents.

La fraction grossière du limon est constituée de calcaire, de quartzite, de gneiss et de chlorite-schiste à grains fins, tandis que de minuscules grains de quartz, de calcite, de muscovite, de magnétite, de rutile, de chlorite, de quartzite, de chlorite-schiste et de gneiss constituent la matrice. Un placage basal d'argile blanche (kaolinite ?), intéressant pour la datation, comprend des plantes écrasées non connectées au sol (Fig. 38 et 39).

La ressemblance étroite de ces *DFD* avec ceux de FL1, la minceur du limon sus-jacent, la proximité de FL à travers la gorge de RR et l'épaisseur réduite du *SD* (Fig. 23) suggèrent fortement que FL s'étend à l'E de RR (Fig. 19, 20, 22 et 23), mais pas beaucoup plus à l'E que les affleurements 29 et 30.

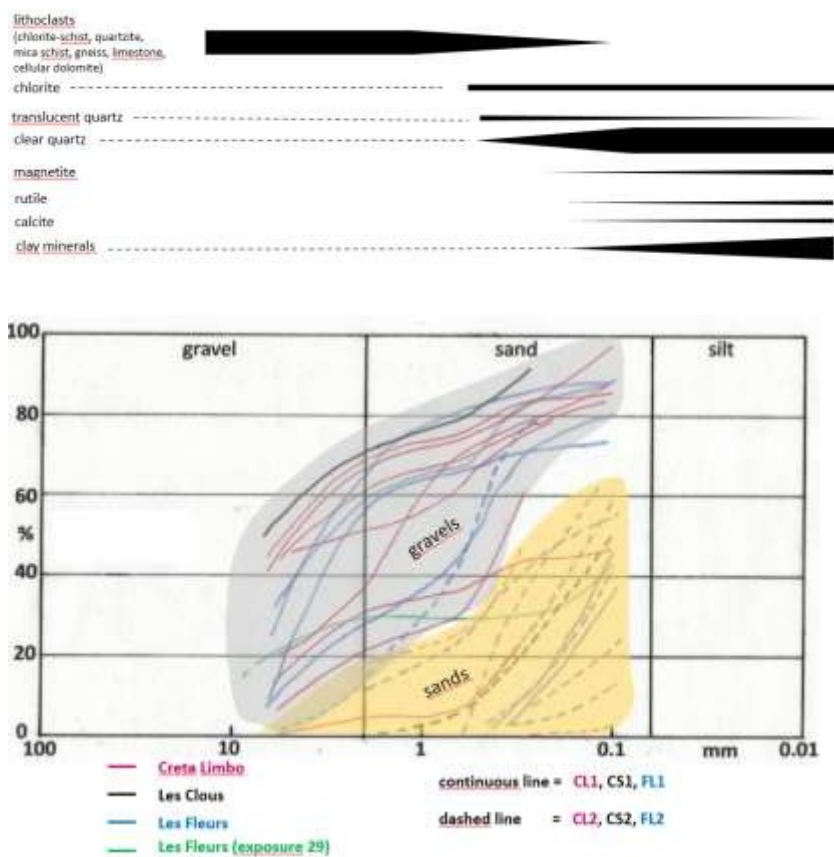


Fig. 33 Courbes de composition et de granulométrie des graviers et sables CL, CS et FL. Ces derniers forment deux familles avec peu de termes de transition (discussion dans le texte).



Fig. 34 Exemples de DFD. *a* Dans la tranchée CL, y compris un lit de SFD ; *b* CS1 grossièrement stratifié à l'exposition CS 1 (Fig. 22) ; *c* A l'exposition FL 1 (Fig. 22) ; *d* A l'exposition FL 29 (Figs 22 et 38).



Fig. 35 Conglomérat dans CL1. Les clastes sont des calcaires gris (1), des quartzites blancs (2), des schistes chloriteux frais (3) et altérés (4). La calcite translucide constitue le ciment. Les pores résiduels sont bordés d'une couronne de microcristaux de calcite indiquant une cimentation vadose (Scholle lit. cit.). Cette dernière a nécessité une exposition atmosphérique prolongée et des eaux de surface courantes.



Fig. 36 TD sur le DFD CS1. Exposition CS 2 (Fig. 22).



Fig. 37 DFD grossièrement stratifié. Exposition FL 30 (Fig. 22).

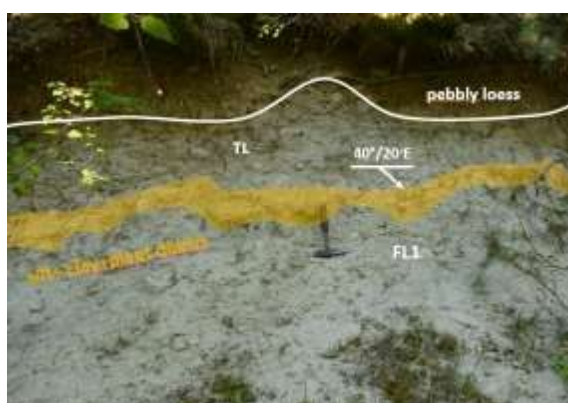


Fig. 38. Stratigraphie FL. Exposition FL 29 (Fig. 22).



Fig. 39 Plantes pressées. Exposition FL 29 (Fig. 22).

Le *SFD*

Les membres **CL2**, **CS2** et **FL2** sont des empilements de lamines gris-beige d'épaisseur millimétrique de sable très bien trié, très fin et légèrement induré (fig. 40), dont l'épaisseur totale atteint 8 m à l'exposition FL 1 (fig. 22 et 31), mais est plus mince ailleurs. Les couches de sable, les lamines et les bandes de gravier intermédiaires sont toujours inclinées vers le bas de la pente. On suppose que ces lamines ont été mises en place sous forme de boues minces et qu'elles représentent des dépôts à écoulement de sable (*SFD*) similaires à ceux décrits par Sohn et al. (1999).



Fig. 40 Exemples de sable stratifié CL2, CS2 et FL2 (a, c et d), avec une traînée de gravier parallèle en (d) et en contact clair avec CS1 en (b).

Le TL

Aux expositions FL 8 et 9 (Fig. 22), la **TL** comprend des données ascendantes et des données descendantes.

- le sous-membre **TLa** omniprésent, chaotique et grossièrement stratifié, caractérisé par l'abondance de blocs de gneiss et de chlorite-schiste de taille décimétrique à métrique, fréquemment incrustés de calcite, comme le sont les composants plus grossiers de la matrice (figures 41 et 42). Les galets et les cailloux comprennent du chlorite et du micaschiste, divers gneiss, du quartzite, du méta-conglomérat, de la serpentinite striée, du calcaire recristallisé/marmorisé, de la dolomite et de la dolomite cellulaire. Les mêmes lithologies et leurs produits de désintégration composent la partie graveleuse-sableuse de la matrice, et
- un sous-membre **TLb** recouvrant de manière conforme, absent ailleurs, et constitué d'un empilement de 1 à 5 m d'épaisseur de *TD* et *DFD* stratifiés fins à grossiers avec des lits de sable intermédiaires (fig. 43 et 44). Son spectre pétrographique est commun avec celui du TLa. Les incrustations de calcite, polies ou non, et les restes organiques (p. ex. pattes d'insectes) sont fréquents. Les *DFD* comprennent des morceaux de sable fin vraisemblablement grattés à la surface du FL et des blocs de gravier à matrice limonitisée (Fig. 45).

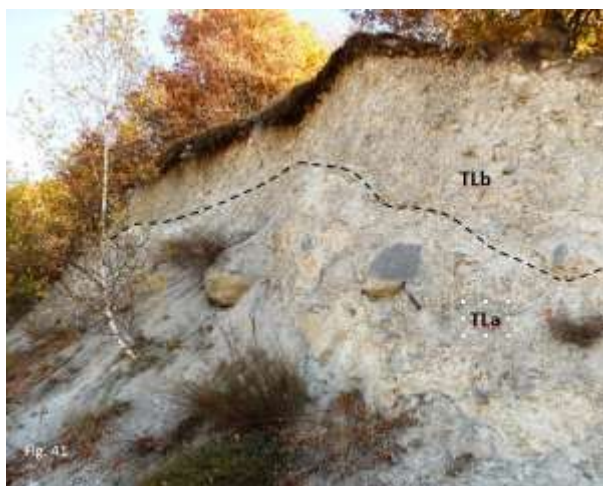


Fig. 41 Contact TLa-TLb. Exposition FL 8 (Fig 22).

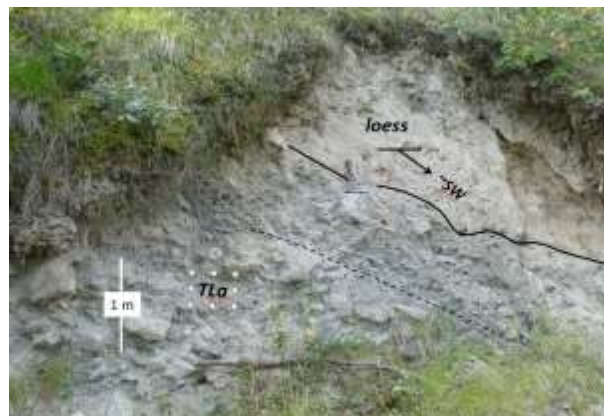


Fig. 42 TLa chaotique et grossièrement stratifiée reposant sur du loess. Route au-dessus de CL (Fig. 22).

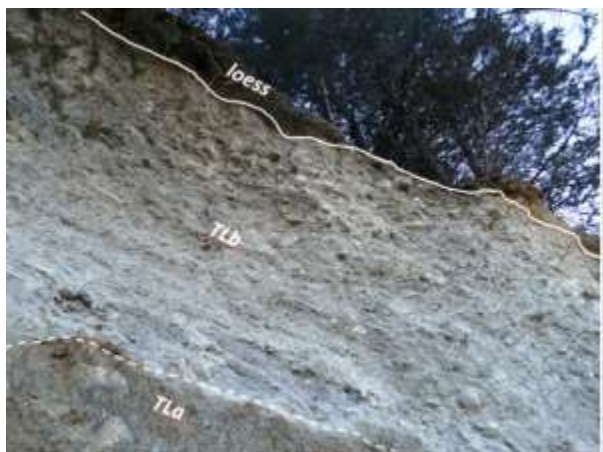


Fig. 43 Empilement TLb de lits de graviers soutenus par des clastes et des boues, d'une épaisseur de l'ordre du décimètre. Exposition FL 9 (Fig. 22).



Fig. 44 Lamelles de gravier à grains fins soutenues par des clastes dans l'exposition TLb. Exposition FL 9 (Fig. 22).

La section FL sur la surface S4 et le côté opposé de la RR

Une section d'éventail FL de plus de 100 m d'épaisseur occupe la surface S4, en grande partie envahie par la végétation et très abrupte (figures 22 et 23). Le loess déposé sur cette surface fixe un âge maximum pour le creusement de la gorge RR et l'édification de l'éventail RR (fig. 46). La petite taille des affleurements épars de gravier et de sable (figures 22 et 46) et l'absence d'informations structurales fiables empêchent toute reconstitution litho-stratigraphique et toute corrélation avec la séquence du côté SO de l'éventail FL. De longues fissures linéaires et les glissements associés pourraient être à l'origine des pendages et des directions de pendage variables du loess et des lits sous-jacents. Selon le modèle de mise en place des RO proposé (chap. 5.4.3), des alternances de RO pourraient être présentes au sommet de S4.

De l'autre côté de la RR, l'éventail FL s'amincit à quelques dizaines de mètres ou moins en dessous de 700 m, alors qu'il est totalement érodé au-dessus.



Fig. 45 Morceau de sable dans le TLb et DFD altéré bloc de gravier. Exposition FL 9 (Fig. 22).



Fig. 46 Sables et graviers isolés aux affleurements FL 14, 15 et 24 sur la surface S4 (Fig. 22) et TLa le long de la voie Itravers-Pischoud (Fig. 20a).

5.4 Géologie de l'unité Les Ormeaux

5.4.1 Description générale et structure

La dalle OR d'environ 230 m de long et de large (figures 20, 22 et 47) est limitée latéralement par les falaises S2 et S3 de 10 à 20 m de haut, d'âge manifestement pré- et post-loess (chapitre 5.2.). L'exposition isolée de OR9 suggère que OR s'étendait vers le SE sur un domaine plus tard érodé par R4 (Fig. 48 et 49). La limite sud du courant coïncide avec une selle d'érosion. La limite nord-nord-ouest pourrait se situer au niveau ou à proximité de la rupture de pente actuelle ou de l'exposition 13 de FL, où des graviers et des sables plongeant vers le bas de la pente pourraient être attribués soit à TL, soit à FL (figures 22 et 48). L'extension originelle vers le sud-ouest est inconnue, mais elle était certainement située à l'ouest de l'OR3. En supposant une surface lisse de FL, l'épaisseur de la dalle exposée atteint 30 m dans la partie centrale (Fig. 48). Cependant, comme discuté au Chap. 5.4.3, son épaisseur totale (jusqu'à la base inobservable) dépasse très probablement ce chiffre.

OR se compose d'alternances de gravier et de sable dissemblables, plongeant à contre-pente et recouvertes en discordance par des dépôts torrentiels/chaotiques TL plongeant à contre-pente ou par du loess, en fonction de la profondeur de l'érosion. Ces séquences/expositions dissemblables sont étiquetées OR1...OR9. A l'exception de OR1/1, les alternances présentent un pendage vers le SSE, contrairement au pendage vers le nord de TL (Fig. 49). Comme on pouvait s'y attendre, la distribution en éventail de ces dernières correspond à la forme conique de l'éventail FL sous-jacent. Avec OR7 structurellement à la base et OR9 au sommet, la suite d'alternances le long de la surface/de la falaise S3 est une fenêtre essentielle sur la structure et la composition globales de l'OR (Figs 47 et 49, Chap.5.4.3).

Les séquences OR sont décrites aux chapitres 5.4.2.1 à 5.4.2.7 et l'origine de l'OR est abordée au chapitre 5.4.3.



FIGURE 47 Vue latérale de la dalle OR reposant sur la surface FL fan/S9) et emplacement de ses expositions (en jaune).

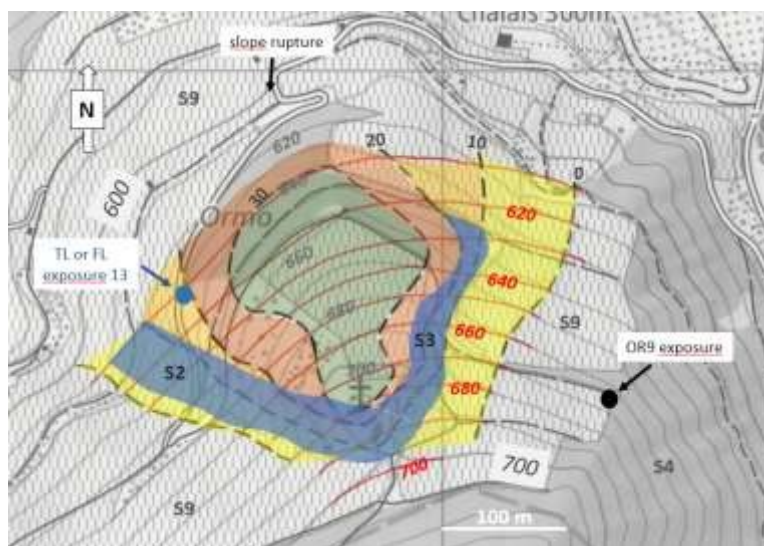


Fig. 48 Isochores approximatives (m) de la dalle OR entre les isohypses S9 arbitrairement lissées (lignes rouges) et les isohypses de surface réelles (lignes grises). Les zones bleues ombrées S2 et S3 sont des falaises de limite de dalle, au-delà desquelles la présence d'OR en surface est probable.

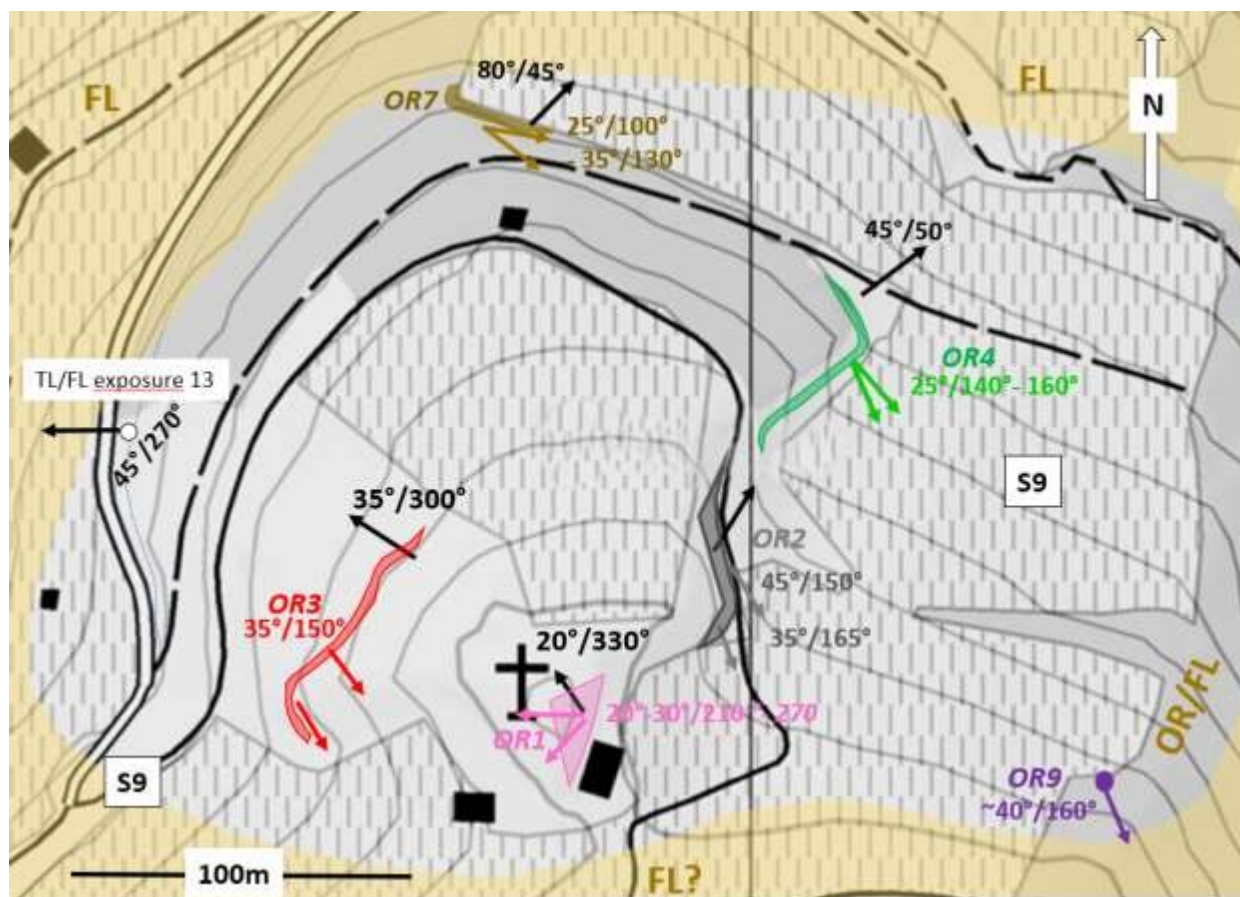


FIGURE 49 Localisation des expositions OR montrant les valeurs de pendage et les directions des alternances (flèches colorées) et de celles de TL (flèches noires). Les dalles FL et OR à la surface sont respectivement en jaune et en gris.

5.4.2 Sédimentologie et pétrographie

Les alternances OR et les dépôts des unités CL, CS et FL présentent des caractéristiques pétrographiques et sédimentologiques communes (Fig. 50) et partagent donc des sources primaires et des processus de dépôt.

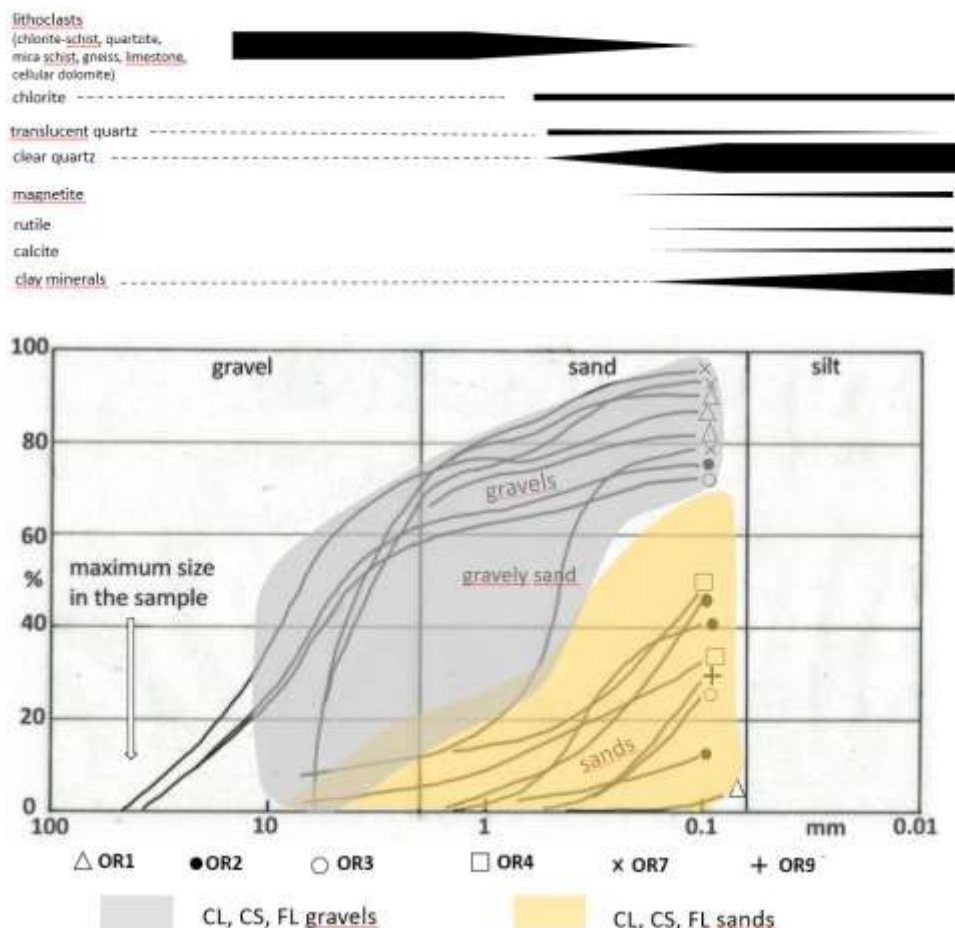


FIGURE 50 Chevauchement des courbes granulométriques OR et des courbes granulométriques CL, CS, FL. L'échantillon SL 3234 (OR7), un rare sable graveleux, traverse les limites des familles. Les graviers OR1 appartiennent à TL, les autres aux alternances.

5.4.2.1 Séquence OR1

Cette séquence est constituée de sable stratifié OR1/1 recouvert de TL (Fig. 51), lui-même recouvert en discordance par un lœss caillouteux.

L'empilement **OR1/1** beige de 2 m d'épaisseur de *SFD* comprend des restes de plantes et d'insectes (Fig. 53) ainsi qu'un intervalle de varves convolutées d'un décimètre d'épaisseur, constitué de lamines sombres riches en magnétite-rutile et de lamines de quartz beige (Fig. 54). La convolution qui n'affecte pas les lamines de sable environnantes est supposée être syn-sédimentaire. Comme l'épaisseur de la dalle OR sur le site OR1 atteint 20 m au minimum (Fig. 48), l'épaisseur de l'OR1/1 est très probablement supérieure à celle exposée. Cette conclusion est étayée par la présence passée de sable fin de plusieurs mètres d'épaisseur à quelques dizaines de mètres au SE du site (témoignage local). Les pendages orientés SSW à W des lamines sableuses s'écartent de ceux des autres alternances (Fig. 49), une anomalie apparente qui reste à expliquer.

La **LT** repose en discordance sur une surface irrégulière à pendage N (figures 51 et 52). Elle consiste en un *DFD* de 2 m d'épaisseur (comprenant de minces lits/lentilles de *TD* et un lit de sable à pendage NNW) recouvert par 10 m de *DFD* chaotique, grossièrement stratifié, riche en gneiss, en chlorite-schiste, etc. en galets et en blocs fréquemment incrustés de calcite.



FIGURE 51 Exposition OR1. TL grossièrement stratifiée, à pendage NNW, recouvrant l'empilement de DFS OR1/1. Les surfaces planes S2 et S3, d'où émergent de gros blocs, sont d'âge pré-loess.



FIGURE 52 Canal à l'intérieur de OR1/1 rempli par TL. Marteau à l'intérieur de l'ellipse rouge.



FIGURE 53 Restes d'insectes (ailes de libellule ?) dans l'OR1/1.

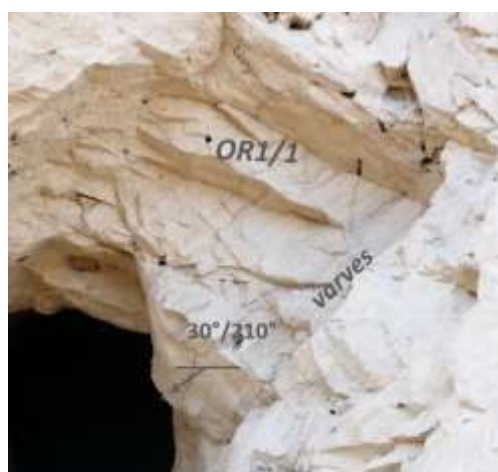


FIGURE 54 Varves convexes à l'intérieur de l'OR1/1.

5.4.2.2 Séquence OR2

L'exposition tridimensionnelle OR2 (fig. 47 et 49) consiste en une alternance de couches *DFD* et *SFD* étiquetées **OR2/0** à **OR2/7** (fig. 55 à 58), recouvertes en discordance par une mince **TL** de *TD* stratifiée, en grande partie inaccessible (fig. 62 et 63), elle-même recouverte d'un **loess** caillouteux. L'inclusion de morceaux de sable dans la LT (peut-être raclés à partir de OR2/0-3) rappelle celle observée dans le gravier de la LT de FL (Fig. 45).

Pour des raisons non étudiées, le pendage SSE général des couches varie de 60°/160°E à la base de l'alternance à 35°/165°E près de son sommet (Fig. 55), en passant par 40°/160°E et 45°/150°E dans la partie centrale (Fig. 49). Comme le suggèrent les perturbations de pendage dans OR2/0, il n'est pas improbable que le contact OR1-OR4 soit proche de cette couche (Fig. 59).

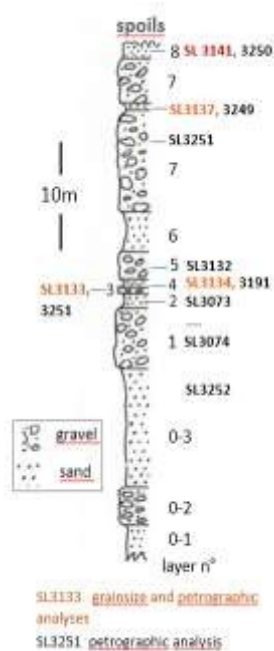


FIGURE 55 Stratigraphie de l'alternance OR2 dont l'épaisseur de 45 m le long de l'affleurement a été utilisée dans le modèle de mise en place OR (Chap. 5.4.3).



FIGURE 56 Section supérieure de OR2 orientée vers le SE (Fig. 47 et 49). En raison des déblais, la relation OR2-OR1 n'est pas claire. Continuation vers le bas sur les Figs 57 et 58.



FIGURE 57 DFD et SFD alternés de la section centrale de l'OR2 en face E. Suite vers le bas sur la Fig. 58.



FIGURE 58 Section inférieure de l'alternance OR2 en face E.



FIGURE 59 Lamelles de sable OR2/0-3 à pendage N anomal.



FIGURE 60 Variation de l'épaisseur du dépôt dans le *DFD* OR2/5.



FIGURE 61 Trait de gravier d'un centimètre d'épaisseur parallèle à la stratification dans le *DFS* OR2/6.



Figure 62 *TD* stratifiée TL recouvrant en discordance l'alternance OR2 et en discordance un loess caillouteux.



Figure 63 *TD* renfermant des morceaux de sable fin prélevés à la surface.

Les *DFD* de l'alternance (Fig. 57) reposent généralement de manière conforme/peu disconforme sur les lits sableux, sont généralement non stratifiés et montrent peu de variations d'épaisseur de dépôt (Fig. 60). La gradation normale de multi-

Des éléments de taille décimétrique à centimétrique sont présents dans certains lits. Les composants du gneiss et du calcaire sont arrondis, les quartzites anguleux. Comme le mentionne Burri (1997), des roches provenant de la région de Zermatt sont également présentes. Le spectre pétrographique (Fig. 50) comprend des clastes oxydés et des restes de plantes.

Les *SFD* gris-beige sont laminés (Fig. 61). Le quartz représente 95% du volume tandis que la chlorite, la magnétite et le rutile sont concentrés dans les 5% restants.

5.4.2.3 Séquence OR3

Cette **séquence**, située sur le côté ouest de l'OR, est exposée le long d'une falaise taillée dans un glissement de terrain détaché de la dalle de l'OR avant le dépôt du **loess** (Fig. 49 et 64). Elle se compose de

- d'environ 10 m d'épaisseur (base non exposée), à pendage SE, alternant *DFD* et *SFD* (**OR3/0** à **OR3/4**) rappelant la section centrale de OR2 et recouvert en discordance par
- un **TL** à pendage composé de *DFD* et d'une lentille de *TD* (figures 64 à 66), recouvert de **loess** caillouteux sur toute la longueur de l'exposition.



FIGURE 64 Structure et stratigraphie de l'exposition OR3. Les failles (lignes rouges) semblent être liées à un glissement de terrain (ligne blanche en pointillés), ce qui expliquerait la variabilité des pendages et des directions de pendage mesurés. L'alternance, cependant, plonge généralement vers le SSE. Les surfaces planes PS (bleu clair) et S2 ont été générées en période de pré-liquidité.

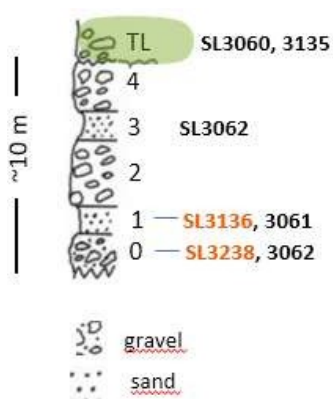


FIGURE 65 Séquence OR3. SL3136 et SL3238 sont des échantillons apparaissant sur la Fig. 50. Épaisseurs verticales le long de la falaise.

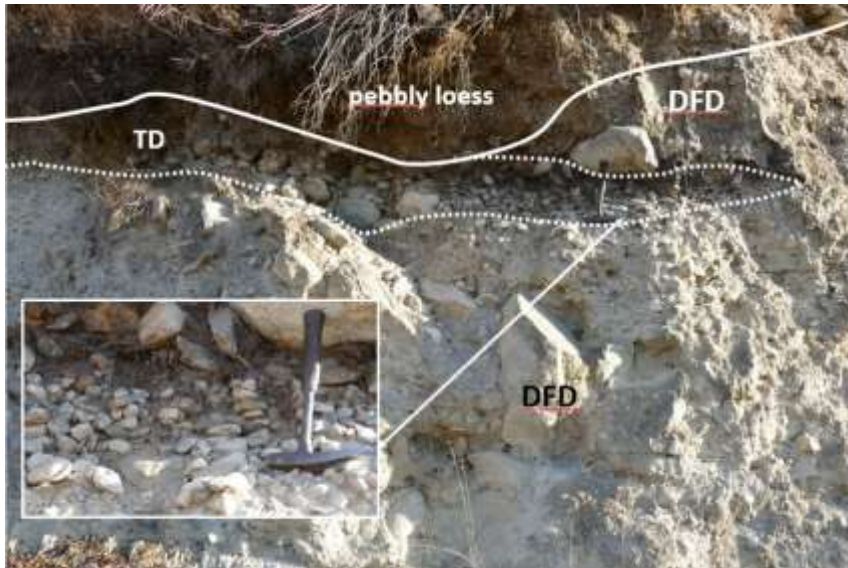


FIGURE 66 Extrémité orientale de l'exposition OR3. TL se compose de DFD chaotiques entourant une lentille de TD.

5.4.2.4 Séquence OR4

L'exposition OR4 se compose d'une face A montrant la majeure partie de l'alternance et d'une face B montrant sa partie basale, la LT et le loess (Fig. 49, 67 à 71). Comme la face A, sub-verticale, est presque parallèle à l'orientation 50°-60°E des couches d'alternance, les traces de ces dernières sont proches de l'horizontale.

La **séquence** se déroule de bas en haut (Fig. 70)

- >10 m (base non exposée) de DFD grossièrement stratifié (**OR4/1**) à l'intérieur duquel le chenal **OR4/2** (Fig. 68) a été creusé et rempli de TD à granulométrie normale, grossière à fine (Fig. 69 et 70) ;
- ~6 m graveleux et stratifié SFD /TD (**OR4/3**) comprenant un lit de gravier de 10 cm d'épaisseur ;
- ~12 m apparemment non stratifié, DFD grossier (**OR4/4**) contenant quelques pour cent de blocs de la taille d'un mètre ;
- ~3 m de SFD fin (**OR4/5**) dont ni la base ni le sommet ne sont exposés. Son contact avec le sable OR2/0-1 est caché par des déblais ;
- un DFD chaotique de la LT, en discordance avec OR4/1, mais absent au-dessus de OR4/2, 3, 4 et 5 (Fig. 67 à 69 et 71). Son contact avec OR4/1 est une surface lisse apparemment produite lors de la mise en place de TL (Fig. 72).

L'exposition de la LT se poursuit sous la forme d'une falaise de 2 à 10 m de haut bordant une route orientée NNW sur une distance de 120 m (OR6, Fig. 22). Les composants de la falaise sont pour la plupart de taille décimétrique, comprennent des blocs de taille métrique et sont constitués de quartzite, de chlorite et de micaschiste, de serpentinite, de micro-gabbro et de gneiss. De minces couches de sable plongeant vers le bas et de fréquentes incrustations de calcite confortent l'attribution de cette couche à la LT.

Un fin loess caillouteux recouvre la TL ou l'alternance.

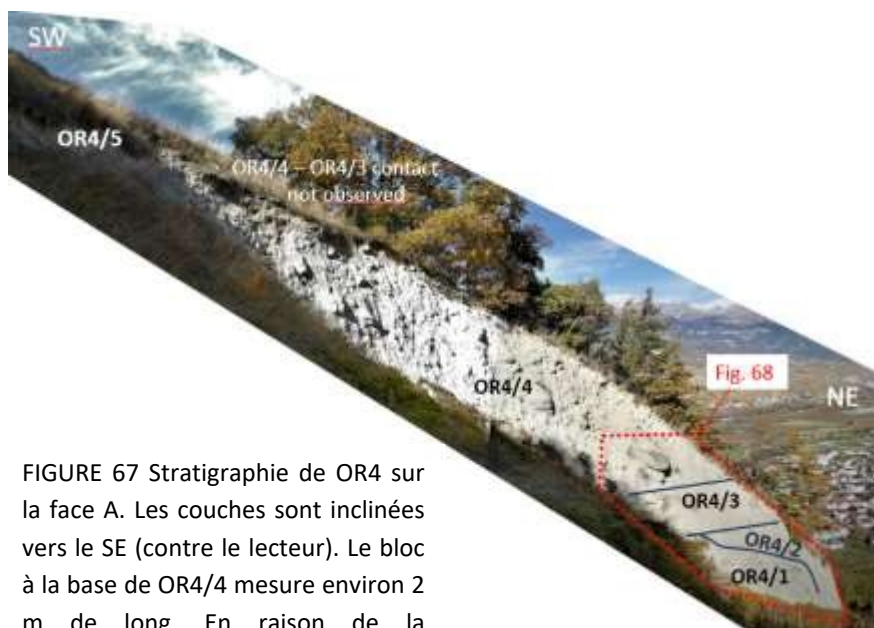


FIGURE 67 Stratigraphie de OR4 sur la face A. Les couches sont inclinées vers le SE (contre le lecteur). Le bloc à la base de OR4/4 mesure environ 2 m de long. En raison de la perspective, OR4/1 et OR4/3 paraissent plus minces qu'ils ne le sont.

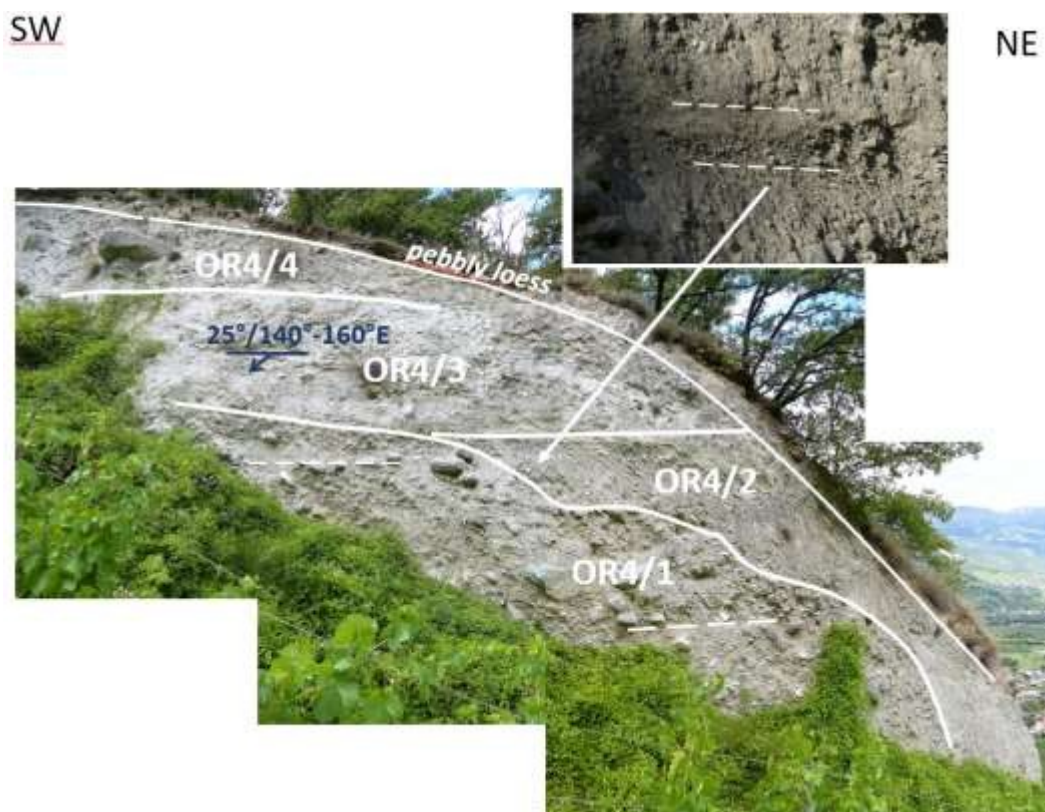


FIGURE 68 Détail de la Fig. 67. Le chenal creusé dans OR4/1 est comblé par des graviers OR4/2. Le pendage vers 140°E, mesuré à la surface d'un lit de sable, est congruent avec les traces quasi horizontales des contacts OR4/4-OR4/3 et OR4/3-OR4/2 et avec la stratification OR4/1.



FIGURE 69 Graduation normale dans le canal OR4/2.

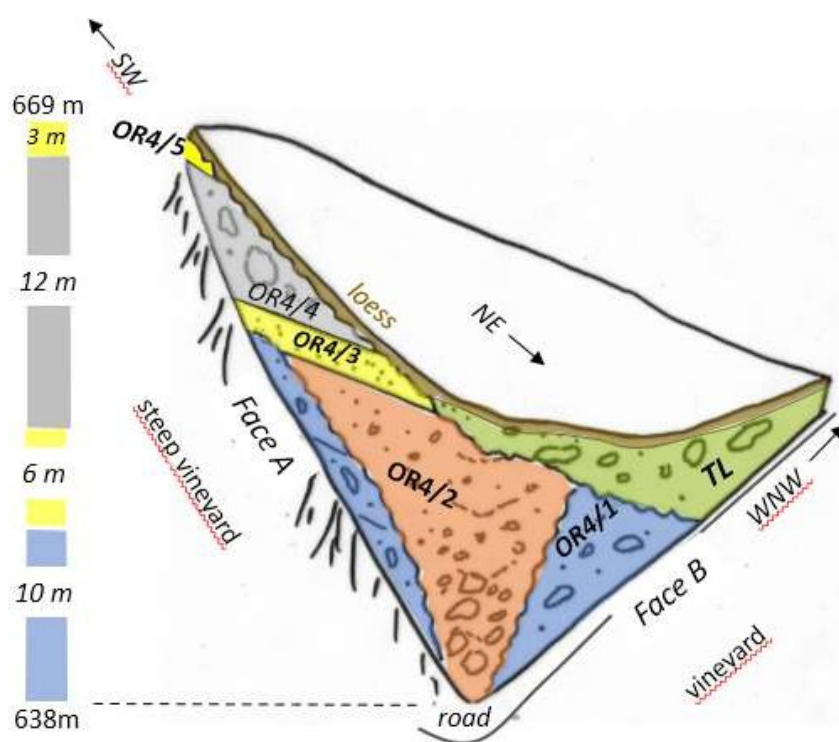


FIGURE 70 A droite, croquis en perspective de l'exposition OR4. A gauche, colonne stratigraphique avec épaisseurs verticales. Les couches OR4/1, 3, 4, 5 sont inclinées vers le SSE à $\sim 25^\circ$, tandis que la TL et le loess sont inclinés vers le NE. Du point de vue de l'épaisseur, le chenal OR4/2 est inclus dans OR4/1.

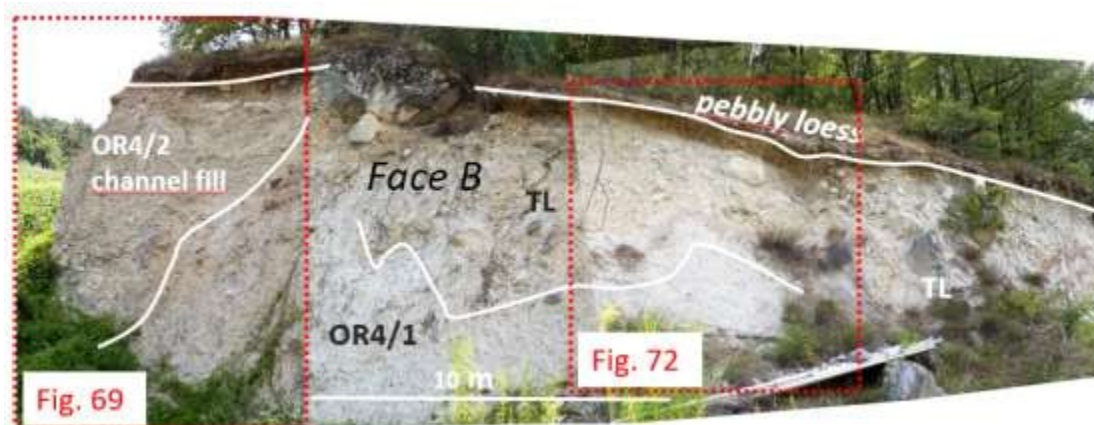


FIGURE 71 Contacts OR4/2-OR4/1 et TL-OR4/1 sur la face B.

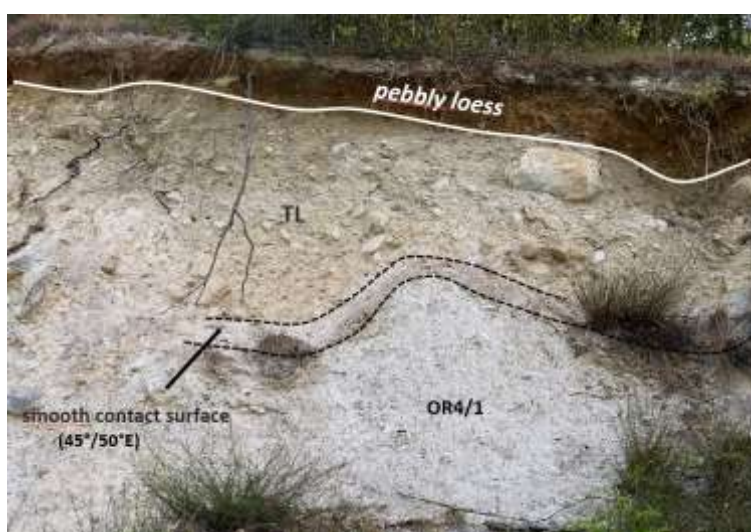


FIGURE 72 Surface de contact lisse TL-OR4/1 (face B, Fig. 71). Gros bloc d'environ 1,5 m de long.

5.4.2.7 Séquence OR7

OR7 est exposé le long d'une falaise de 3 à 8 m de haut et de 100 m de long, largement parallèle à la direction de pendage de l'alternance ESE (figures 47 et 49). L'**alternance** courte, visible à l'extrémité ouest de l'exposition, se compose de 2 m de *DFD* non stratifié (**OR7/1**, base non exposée) recouvert de manière conforme par 4 m de *SFD* stratifié (**OR7/2**) (fig. 73 et 74). Les 1,5 m de base de ce dernier sont fins (OR7/2a) et les 2,5 m sus-jacents sont graveleux (OR7/2b). Le **TL** à pendage NE occupe le reste de l'exposition. Son contact avec OR7/2 est une surface lisse (Fig. 75).

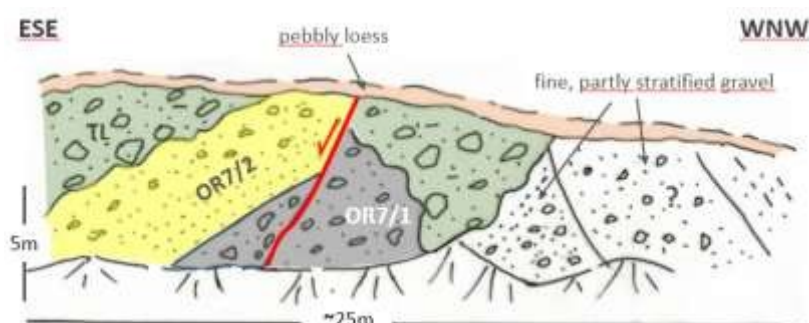


FIGURE 73 Croquis de l'exposition OR7. La relation des graviers les plus à l'ouest avec l'alternance n'a pas pu être élucidée.

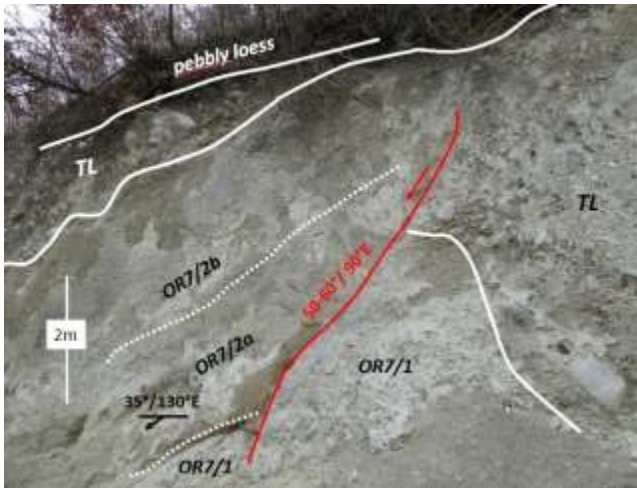


FIGURE 74 Séquence OR7. La faille superficielle qui coupe OR7 est postérieure à la TL et antérieure au dépôt de loess.



FIGURE 75 Surface de contact lisse TL-OR7/2.

5.4.3 Origine de la dalle Ormeaux

A proximité du sommet de la colline des Ormeaux, Burri (1997) mentionne des couches de sable et de gravier grossier à contre-pente, composées de gneiss, de quartzite et de roches de la région de Zermatt et met en relation ces dépôts avec la proximité de la RG. Suite à ce rapport, la dalle des Ormeaux apparaît comme "Moraine de la dernière glaciation" sur la feuille SGA 111 (Gabus et al. lit. cit.), ce qui est considéré comme incompatible avec les faits. Une nouvelle interprétation est donc nécessaire qui devrait expliquer

1. la juxtaposition, le long de la pente, d'alternances *DFD-SFD* dissemblables recouvertes en discordance par l'omniprésente TL à pendage descendant ;
2. une suite de pendages inversés de 290 m de long (figures 49 et 76) ;
3. l'absence générale de perturbations structurales à l'intérieur des alternances, sauf à leurs extrémités (comme observé dans l'OR2 et supposé pour les autres alternances) ;
4. la composition lithologique/minéralogique et la texture de tous les *DFD*, *SFD* et *TD* étant identiques à celles de l'éventail FL sous-jacent ;
5. la dissemblance stratigraphique des alternances.

Le modèle 2D simple et alternatif proposé, qui est basé sur les données (épaisseurs, longueurs) de la suite OR2-OR4, courte mais ininterrompue, devrait s'appliquer à l'ensemble de la dalle OR puisque les lithologies et la direction générale du pendage sont partagées par toutes les alternances et devraient largement satisfaire aux exigences ci-dessus. Dans ce modèle, les *pendages à contre-pente résultent du glissement séquentiel de tranches FL détachées et de l'inversion de leur direction de pendage lorsqu'elles dépassent d'abord la surface FL et entrent ensuite en contact avec la tranche précédente* (Fig. 76). De tels glissements rotationnels sont bien documentés (Dikau lit.cit. ; Buma et al. 1996).

En ce qui concerne le point 2, une division en tranches individuelles est nécessaire pour rapporter la longueur totale de la suite des alternances à l'épaisseur de la tranche originale (ou à la profondeur du décollement/de la semelle), car la longueur d'une alternance le long de la pente devrait dépasser légèrement l'épaisseur de la tranche originale. Cela ne peut évidemment pas être le cas pour une seule tranche de 290 m de long. Dans le cas de l'OR2, la suite de pendages inversés de 45 m de long (déblais exclus) nécessite une épaisseur de tranche de ~ 45 m (Fig. 55), ce qui n'est pas exceptionnellement grand (Booth et al., 2013). Ce chiffre, qui dépasse les 30 m et plus indiqués sur la Figure 48, permet de déduire que la sole d'OR est plus profonde que la surface lissée de FL (comme on peut s'y attendre).

En ce qui concerne le point 5, on suppose que le décalage latéral de OR2 et OR4 peut expliquer leurs différences stratigraphiques. Les différences stratigraphiques entre les autres alternances courtes et peu exposées sont attendues dans un tel environnement terrestre et peu préoccupantes.

Une autre explication dérivant les alternances de l'effondrement, le long de failles lystrales, de terrasses de kame nécessiterait des déplacements plus longs, des perturbations internes et une plus grande similitude des alternances, et n'expliquerait ni la présence écrasante de *DFD* et *SFD*, ni le grand volume de la dalle.

En résumé, la dalle OR est interprétée comme un grand glissement de terrain composé de tranches se chevauchant les unes les autres, partiellement nivelées par l'érosion et recouvertes de manière inconfortable par la LT. Les incertitudes liées à ce modèle ne permettent pas de proposer une cinématique détaillée.

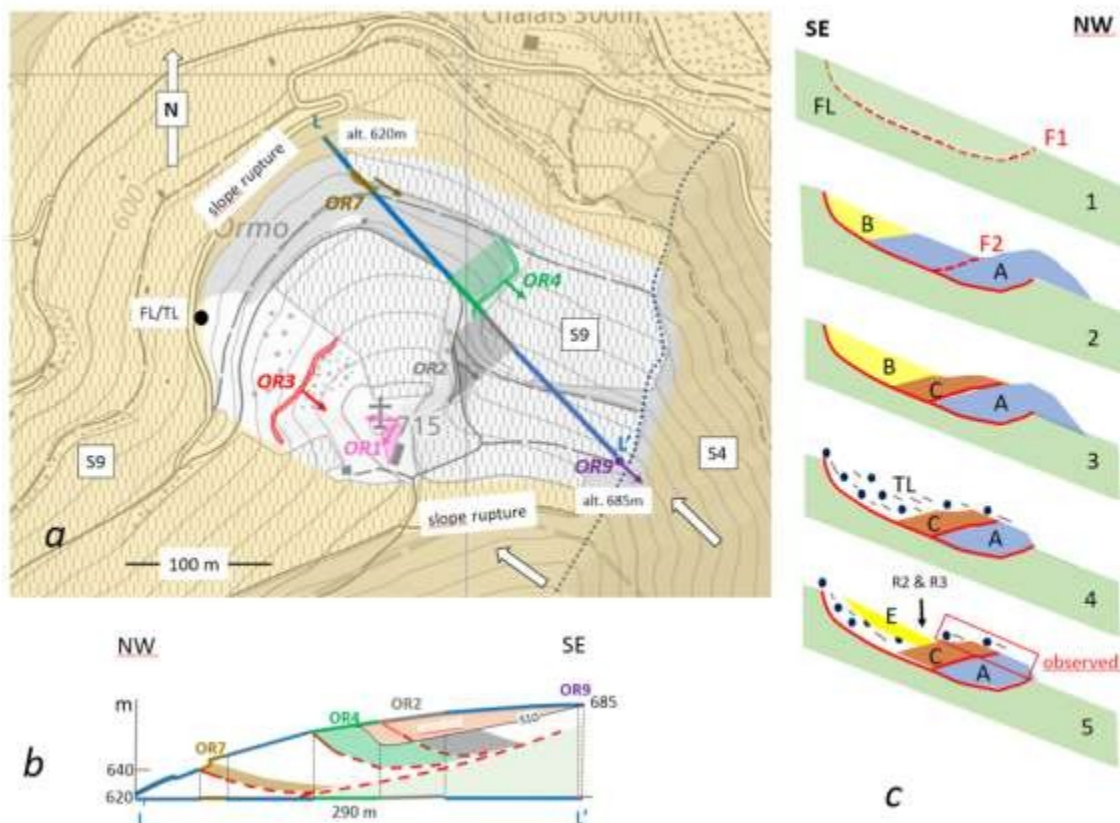


FIGURE 76 Modèle proposé pour les emplacements OR . *a* Tracé L-L' de la coupe géologique. Les traits bleus le long de la ligne de surface représentent les lacunes d'exposition. Les flèches blanches indiquent la direction de glissement des alternances (c.-à-d. parallèle aux directions de pendage) ; *b* Coupe transversale hypothétique de l'OR le long du tracé LL' ; *c* Modèle de mise en place de l'OR selon lequel l'OR est un élément de l'écosystème.

1. La surface de glissement F1 se développe à l'intérieur du FL ;
2. la tranche A glisse et recouvre partiellement la tranche FL, ce qui génère des contre-pentes et l'ouverture de l'espace B. La surface F2 se développe ;
3. la tranche C entre en contact avec la tranche A et l'espace ouvert B augmente ;
4. A et C sont partiellement nivelés et recouverts par la LT, suite au comblement de la dépression B ;

5.5 Flanc sud : discussion et conclusions

Dépôts

Les caractéristiques structurales et sédimentologiques des graviers soutenus par une matrice dans les membres CL1, CS1, FL1 et dans OR sont bien connues des *DFD*, comme on l'a vu au chapitre 4.6. Les graviers subordonnés associés à des clastes, caractérisés par des composantes arrondies/sub-arrondies, sont interprétés comme des *TD* (Recking et al. lit. cit. ; Beauchamp lit. cit.). Les sables fins laminés CL2, CS2, FL2, ainsi que ceux qui interviennent dans FL1 et OR, sont interprétés comme des *SFD* (Sohn et al. lit. cit.) mis en place sous forme de minces coulées. Les mécanismes conduisant à l'alternance de *DFD*, *SFD* et *TD* n'ont pas encore été identifiés.

La base chaotique omniprésente de la TLa se caractérise par une stratification faible ou inexistante, une teneur plus élevée en matériaux morainiques tels que la serpentinite striée, de très gros blocs de gneiss et de chlorite-schiste et de fréquents encroûtements de calcite. La question de savoir s'il s'agit de dépôts d'avalanches de débris ou de coulées de pierres, etc. (Dikau et al. 1996 ; Coussot et al. lit.cit. ; Hungr et al. 2001, Reznichenko et al. 2012) est ouverte à la discussion. Les blocs rocheux parfois énormes disséminés dans la zone d'origine des ventilateurs sont attribués au LTa. Le TLb stratifié sus-jacent, déposé/présumé sur l'éventail FL uniquement, est supposé représenter des flux tardifs de *DFD* et *TD*.

Environnement du dépôt

Le corps **FL**, y compris le glissement **OR**, présente des caractéristiques d'éventail alluvial telles que la forme conique, l'augmentation de l'épaisseur en aval-pendage et l'association de *DFD*, *SFD* et *TD* subordonnés. Le **CL** et le **CS** partiellement érodés présentent également des caractéristiques sédimentologiques d'éventail (figures 20a, 22 et 24). Les différentes directions de pendage des *DFD* de CL (figures 30 et 31) suggèrent une architecture lobée qui n'a pas pu être démontrée ailleurs.

Extensions latérales et longitudinales

La zone d'origine du complexe d'éventails CL, CS et FL s'étendait de la proximité du flanc d'érosion occidental de CL à quelques centaines de mètres à l'E de la gorge RR. Ces cônes ont certainement contribué au remplissage du RV et ont été mis en place avant le glissement de Sierre, une hypothèse que les données sismiques pourraient vérifier.

La taille originale du glissement de terrain OR a certainement dépassé celle de la dalle actuelle, comme le suggèrent ses flancs d'érosion et l'existence d'une exposition isolée sur la surface S9 du FL.

Sources et climat

Le spectre lithologique commun à tous ces dépôts indique que les formations de la nappe SM ont été la source primaire d'une grande partie du matériel des éventails. Comme sur le versant opposé du RV, la fonte de glacier(s) rocheux (source secondaire) et des précipitations abondantes ont vraisemblablement conduit à la libération de grandes quantités de *DFD*. Ces glaciers rocheux étaient très probablement situés dans la vallée glaciaire de Réchy (avant son approfondissement torrentiel) dont les flancs sont principalement constitués de formations de nappes SM (Figs 19 a et b). Des contributions du cirque glaciaire de Le Tsan ne peuvent cependant pas être exclues.

Le membre *SFD* de quelques mètres d'épaisseur et les couches *SFD* intermédiaires nécessitent une source/des étendues d'eau d'où de minces coulées de sable pourraient s'échapper de manière rythmée (mécanisme ?). On suppose que la proximité des sources *SFD* et *DFD* explique le mieux leur alternance. D'autre part, la transition abrupte de CL1, CS1, FL1 à CL2, CS2, FL2 et finalement à TL doit être liée à l'épuisement quasi-total de la source secondaire *DFD*.

L'origine de la couche TLa, chaotique et omniprésente, est moins évidente, surtout en ce qui concerne ses

blocs parfois énormes. Ceux-ci proviennent probablement des moraines déposées sur les pentes par les glaciers VR et Rhône, tout comme les blocs de taille équivalente rencontrés dans CL1, CS1 et FL1. La source des dépôts du TLb pourrait impliquer à la fois une moraine et un glacier rocheux résiduel.

Au-dessus de ~1000 m, le transport *SD* a suivi l'orientation SSE-NNW de la VR, à l'opposé de la gorge RR orientée S-N qui a ensuite incisé l'éventail FL et le substratum carbonifère. La raison de ce changement de tendance n'est pas connue.

Âge des fans

La séquence d'événements allant de la mise en place à l'érosion partielle des cônes est la même des deux côtés du RV et est donc considérée comme représentative de la région. Par manque de données concrètes, on suppose que le *DFD*, le *SFD* et le *TD* ont été générés durant la période d'instabilité du glaciaire tardif à l'holocène précoce qui a été identifiée dans les Alpes (Dapples 2002 ; Le Roy 2012) et en particulier dans l'est du Valais (Moulin 2014). Il est évident que la datation (OSL, c_{14}) du *DFD*, du *SFD* et du *lœss* améliorerait grandement cette approche analogique.

Déroulement des événements (Fig. 78)

- 1 creusement du flanc RV par le RG et du VR (jusqu'à 1000 m ?) par le glacier éponyme et dépôt de moraines ;
- 2 la construction des ventilateurs FL, CS et CL (à l'exclusion de TL) ;
- 3 la mise en place du glissement de terrain OR ;
- 4 érosion suivie d'un dépôt de TL, en discordance sur OR et en discordance ailleurs ;
- 5 le creusement des surfaces S1, S2 et S3 par les torrents R1, R2 et R3 ;
- 6 le creusement de la gorge RR (R4) et l'édification synchrone du cône de Réchy et l'approfondissement de la vallée glaciaire VR ;
- 7 dépôt de *lœss* ;
- 8 l'érosion limitée et les interventions anthropiques.

Le remplissage partiel du RV par les ventilateurs CL, CS et FL s'est terminé avec l'étape 4. Les données disponibles ne permettent pas de déterminer si le glissement de Sierre a été mis en place après l'étape 4 ou après l'étape 6.

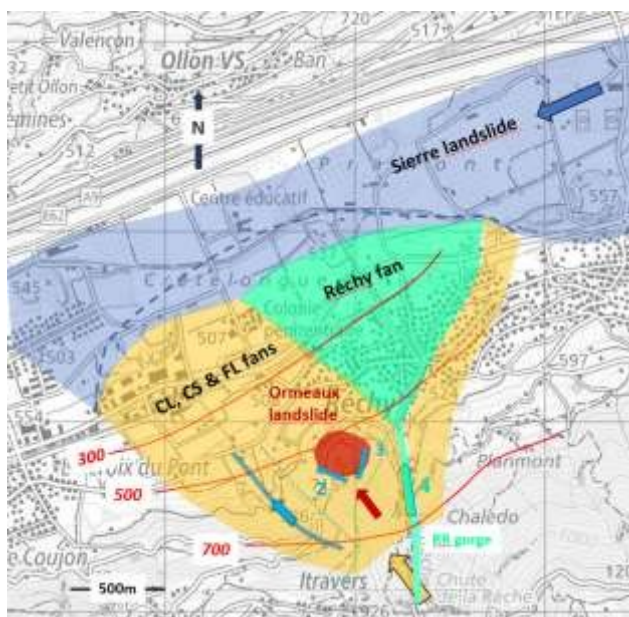


Fig. 78 Vue cartographique des événements 2, 3 et 6. Des cônes alluviaux se sont développés dans la zone ombrée en jaune, dont une partie a été recouverte par le cône de Réchy (vert bleu clair). Le bleu en pointillé représente une extension maximale hypothétique des cônes. La direction du *SD* (flèche jaune), du ravin 1 (flèche bleue) et du glissement OR (flèche rouge) est la même que celle du VR (Fig. 19b). La gorge RR (flèche verte) incise l'éventail FL en formant un angle avec les isohypses du substratum supérieur (lignes rouges continues, mètres a. m. s. l.). A l'est de la gorge RR et au-dessus de 700 m, le FL a été érodé - il était vraisemblablement mince - par le RR (R4).

6 Conclusion : la vallée centrale du Rhône et ses flancs

La principale conclusion de ce travail est que les masses de dépôts quaternaires reposant sur les flancs du RV central et décrites comme des moraines du Rhône ou de la Dernière Glaciation sur les feuilles SGA 35 et 111 sont en fait des cônes alluviaux du Glaciaire tardif à l'Holocène précoce* ou leurs vestiges. Ils sont constitués de coulées de débris, de coulées de sable subordonnées (uniquement sur le flanc S) et de dépôts torrentiels provenant de glaciers rocheux et d'étendues d'eau stockant des éboulis et du sable. Le RG et le matériel morainique local dispersé sur les pentes ont également été inclus dans les coulées de débris et sont devenus abondants dans les dépôts chaotiques supérieurs au fur et à mesure de l'épuisement des sources principales. Les éventails du flanc S ont contribué au remplissage du RV et ont probablement été mis en place avant le célèbre glissement de Sierre*. On suppose que la mobilisation des sources a été déclenchée par la fonte du pergélisol et les précipitations abondantes résultant du réchauffement atmosphérique, ce qu'attestent la nature même des dépôts, la présence de blocs altérés, de clastes rougis et de restes d'insectes, de mollusques et de plantes, ainsi que l'instabilité générale des pentes. Cette dernière s'exprime le mieux par l'important glissement de terrain des Ormeaux, jusqu'à présent méconnu, détaché du plus grand éventail du flanc sud du RV et reposant sur celui-ci.

Une histoire quaternaire totalement nouvelle est ainsi apparue, qui a commencé par la formation de cônes alluviaux, s'est poursuivie par leur érosion partielle et s'est essentiellement achevée par le dépôt de loess. Cette période d'érosion est manifestement responsable du creusement de la gorge de la RR et de la formation synchrone du cône de Réchy sur le flanc sud.

Il serait peut-être possible d'envisager si les complexes de fans méritent le statut de formation.

*Hypothèse

Déclarations

Approbation éthique et consentement à la participation :

sans objet. Consentement à la publication : sans objet.

Disponibilité des données et du matériel : les échantillons n'ont pas été stockés, mais des équivalents peuvent être collectés sur les affleurements mentionnés dans le texte. Néanmoins, les restes organiques (plantes, bois, insectes, mollusques) ainsi que les échantillons pour le c_{14} et l'OSL sont toujours disponibles auprès de l'auteur.

Intérêts concurrents : sans objet.

Financement : sans objet.

Contributions de l'auteur : sans objet.

Remerciements : l'auteur est redevable à ses amis Filippo Bianconi et feu Walter Ziegler pour les premières discussions sur ce travail.

Informations sur l'auteur : travail totalement indépendant

Références

Amelot, F., Delannoy, J.-J. & Nicoud, G. (2003) L'édification des cônes de déjection en montagne : intérêts paléoenvironnemental et hydrologique, contribution typologique. *Quaternaire* 14 (4), 253-263.

Badoux, H., Bonnard, E.G., Burri, M. & Visher A. (1959). Levé géologique. Feuille 35 St-Léonard. *Atlas géol. Suisse 1 :25 000*

Badoux, H., Bonnard, E.G. et Burri, M. (1959). Notice explicative. Feuille 35 St-Léonard. *Atlas géol. Suisse 1*

:25 000

Bardou, E. & Jaboyedoff, M. (2008) Debris flows as a factor of hillslope evolution controlled by a continuous or a pulse process. *Geological Society, London, Special Publications, 296, 63-78.*

Beauchamp, J. (2020) Sédimentologie. www.u-picardie.fr

Besson, O., Rouiller, J.D., Frei, W. & Masson, H. (1993). Campagne de sismique-réflexion dans la vallée du Rhône entre Sion et St-Maurice : perspectives d'exploitation géothermique des dépôts torrentiels sous-glaciaires. *Bull. Centre hydrol. et géotherm. (CHYN). 12 : 45-63.*

Bini, A., Buoncristiani, J.F., Couterrand, S., Ellwanger, D., Felber, M., Florineth, D., Graf, H.R., Keller, O., Kelly M., Schlüchter, C. & Schoeneich, P. (2011). La Suisse au cours du dernier maximum glaciaire. *Office fédéral de topographie swisstopo, CH-3084 Wabern, Suisse.*

Booth, A.M., Lamb, M.P., Avouac, J.-Ph., Delacourt, CH. (2013) Landslide velocity, thickness, and rheology from remote sensing : La Clapière landslide, France. *Geophysical Research Letters/Volume 40, Issue 16.*

Buma, J. et Van Asch, T. (1996). Glissement (rotation). In : *Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes. Edité par R.Dikau, D. Brunsden, L. Schrott & M.L. Ibsen. Wiley. 251 pp.*

Burri, M. (1955). La géologie du Quaternaire aux environs de Sierre. *Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. 66/289 : 141-154.*

- (1958). La zone de Sion - Courmayeur au Nord du Rhône. *Matériaux Carte Géol. Suisse, Nouvelle Série, 105^e livraison.*
- (1997). Géologie récente de Finges et de ses environs (VS). *Bull. Murith. 115 : 5-27.*

Canton du Valais (2007). Etudes des terroirs (Etude Sigales). <https://www.vs.ch/web/etude-des-terroirs>.

INTERPROFESSION DE LA VIGNE ET DU VIN DU VALAIS (2004). Etude géopédologique des vignobles de St-Léonard- Flanthey. www.lesvinsduvalais.ch

Christ, P. (1925) Die Walliser Anthrazitlagerstätten und der Walliser Anthrazitbergbau während der Jahre 1917-1924. *Beitr. Geol. Schweiz. Ser. 11/2 : 1-162.*

Chambon, G. & Laigle D. (2013). Les laves torrentielles. In : *Torrents et rivières de montagne. Dynamique et aménagements. Versailles : Quae, 200-266.*

Cojan, I. & Renard, M. (2006). *Sédimentologie*. Dunod, Paris. 444 p.

Corominas, J., Remondo, J., Farias, P., Diaz de Teran, J., Dikau, R., Schrott, L., Moya, J. et Gonzalez, A. (1996). Debris flow. In : *Landslide Recognition, Identification, Movement and Causes. Wiley. 251 pp.*

Coussot, P. & Meunier, M. (1996). Reconnaissance, classification et description mécanique des coulées de débris. *Earth-Sci. Rev. 40, 209-227.*

DAPPLES, FL. (2002) Instabilités de terrain dans les Préalpes fribourgeoises (Suisse) au cours du Tardiglaciaire et de l'Holocène : influence des changements climatiques, des fluctuations de la végétation et de l'activité humaine. *Geofocus 6, Fribourg 2002.*

Dikau, R. (Editeur), Brunsden, D. (Editeur), Schrott, L., (Editeur), Ibsen, M.L. (1996). *Landslide Recognition. Identification, Movement and Causes. Wiley, 251 pp.*

- Dorthe-Monachon, L. 1993. Etudes des stades tardiglaciaires des vallées de la rive droite du Rhône entre Loèche et Martigny. *Travaux Inst. Géogr. Lausanne* 190 : 1-142.
- Gabus, J.-H., Weidmann, Sartori, M., Burri, M. (2008a). Notice explicative. Feuille 1287 Sierre. *Atlas géol. Suisse 1 :25 000*.
- Gabus, J.-H., Weidmann, M., Bugnon, P.C., Burri, M., Sartori, M. & Marthaler, M. (2008b). Levé géologique. Feuille 1287 Sierre. *Atlas géol. Suisse 1 :25 000*
- Guelat, M. (2013). Le loess de la vallée du Rhône. Présentation lors de " Les Alpes valaisannes Terre de rêve des géologues ". Sion, 7 et 8 novembre 2013.
- Highland, L.M. & BOBROWSKI, P. (2008). The Landscape Handbook - A guide to understanding landslides (Le manuel du paysage - Un guide pour comprendre les glissements de terrain). [https:// : pubs. usgs. gov/circ/1325/pdf/Sections/Section1.pdf](https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/Sections/Section1.pdf).
- Hungr, O., Evans, S.G., Bovis, M.J. & Hutchinson, J.N. (2001). A Review of the Classification of Landslides of the Flow Type (Examen de la classification des glissements de terrain de type écoulement). *Environmental & Engineering Geoscience, Vol VII, N°3, 221-238*.
- LE ROY, M. (2012) Reconstitution des fluctuations glaciaires holocènes dans les Alpes occidentales - Apports de la dendrochronologie et des datations par isotopes cosmogéniques produits in situ. *Thèse Université de Grenoble, 2012*.
- LELEU, S. (2005.) Les cônes alluviaux, Crétacé Supérieur/ Paléocène en Provence : traceurs de l'évolution morpho-tectonique des stades précoces de collision. *Thèse de doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg*. Marthaler, M., Sartori, M., Escher, A. & Meisser, N. (2008). Atlas Géologique de la Suisse 1 :25'000, Feuille 1307 Vissoie. Notice explicative. *Office fédéral de topographie swisstopo*.
- Marthaler, M., Sartori, M., Escher, A. (2008). Atlas Géologique de la Suisse 1 :25'000, Feuille 1307 Vissoie. Levé géologique. *Office fédéral de topographie swisstopo*.
- Massaad, M. (1973) pétrographie de quelques shales de l'Aalénien de l'Helvétique et de l'Ultraschweizer. *Bull.Lab. Géol. Minéral. Géophys. Musée géol. Univ. Lausanne* 203.
- Moulin, B. (2014). L'habitat alpin de Gamsen (Valais, Suisse). 2. Le contexte géologique. Histoire sédimentaire d'un piémont en contexte intra-alpin, du tardiglaciaire à l'actuel. Avec Contribution de Michel Guélat et Philippe Rentzel. *Cahiers d'archéologie romande* 154. *Archaeologia Vallesiana* 12.
- Nemec, W. & Steel, R.J. (1984). Alluvial and coastal conglomerates : their significant features and some comments on gravely mass-flow deposits. In : Koster, E.H. & Steel, R.J. (Eds) *Sedimentology of Gravels and Conglomerates. Canad. Soc. pétrol. Geol.* 10, 1-31.
- Novak, A., Tomislav, P. & Smuc, A. (2018) Sedimentological and geomorphological characteristics of Quaternary deposits in the Planica-Tamar Valley in the Julian Alps (NW Slovenia). *Journal of Maps*, 14:2, 382- 391.
- Recking, A., Richard, D. & Degoutte, G. (2013) Torrents et rivières de montagne. Dynamique et aménagement. *Editions QUAE*.
- Rosselli, A. & Olivier, R. (2003). Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des isohypses au 1 :100'00 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse). *Eclogae geol. Helv.* 96, 399-423.

Scapoza, CR. (2012) Stratigraphie, morphodynamique, paléoenvironnements des terrains sédimentaires meubles à forte déclivité du domaine périglaciaire alpin. *Institut de géographie, Université de Lausanne, Anthropole, 1015 Lausanne.*

Silhan, K. & Panek, T. (2010) Fossil and recent debris flows in medium-high mountains (Moravskoslezské Beskydy Mts, Czech Republic). *Geomorphology, vol. 124, iss. 3-4, 238-249.*

Schaechtlin, Ph. (2000a). Etude gravimétrique de l'éboulement de Sierre. *Travail de diplôme, Sciences de la Terre, Université de Lausanne, non publié.*

Schaechtlin, Ph. (2000b). Etude du quaternaire de l'éboulement de Sierre. *Travail de diplôme, Sciences de la Terre, Université de Lausanne, non publié.*

Scholle, P.A. (1979). A Color Illustrated Guide to Constituents, Textures, Cements and Porosities of Sandstones and Associated Rocks (Guide illustré en couleurs des constituants, textures, ciments et porosités des grès et des roches associées). *Memoir 28, publié par The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, U.S.A.*

Sohn Young Kwan, Chul Woo Rhee & Bok Chul Kim (1999). Debris Flow and Hyperconcentrated Flood-Flow Deposits in an Alluvial Fan, Northwest Part of the Cretaceous Yongdong Basin, Central Korea. *The Jnl of Geology, 107 : 111-132.*

Steck, A., Allimann, M., Epard, J.L., Escher, A., Gouffon, Y., Lempika Münch, A., Marthaler, M., Masson, H., Mosar, J., Sartori, M. & Spring, L. (1999). Carte tectonique des Alpes de Suisse occidentale et des régions avoisinantes. Carte géologique spéciale N° 123-NW. Feuille 41 Col du Pillon

Tricart, J. (1965). *Principes et méthodes de géomorphologie.* Masson, Paris, 496 p.

Winistoerfer, J. (1978). Paléogéographie des stades glaciaires des vallées de la rive gauche du Rhône entre Viège et Aproz. *Bull. Murith. 94 (1977) : 1-65.*

