Données nouvelles sur la géologie des collines de Chièstres

Travail dédié à la mémoire de notre collègue et ami Jacques-Henri Gabus (1926-2015)

Aurèle PARRIAUX[1], Marcel BURRI[2] & Marc WEIDMANN[3]

Parriaux A., Burri, M. & Weidmann, M., 2017. Données nouvelles sur la géologie des collines de Chièstres. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 96 : 31-48.

Résumé

La géologie des collines de Chièstres et de l'ancien sillon glaciaire du Rhône a été révisée. Les excavations de la couverture meuble de la carrière de Sous-Vent ont révélé une succession de dépôts où l'on identifie les débris de deux éboulements majeurs, datés d'environ 10'000 et 4'500 ans BP. Les calculs de volume et l'étude des débris montrent que ces masses provenant de l'encoche d'érosion du Courset se sont mises en place lors d'évènements catastrophiques particulièrement rapides. Des forages profonds destinés à la prospection d'eau souterraine permettent de préciser la forme du substratum rocheux dans le sillon glaciaire de Châtel-sur-Bex, ainsi que la nature des sédiments qui le remplissent. En aval du hameau, sous une épaisse série de graviers de cônes de déjection, une formation fluvioglaciaire rhodanienne témoigne d'un épandage frontal en relation avec la langue glaciaire restée sur le seuil rocheux. Paradoxalement, il n'y a pas de dépôt des éboulements dans l'axe du sillon, ce qui témoigne de la grande énergie cinétique de la masse en mouvement.

Mots clés : Géologie du Quaternaire - éboulements - glacier du Rône - datation.

Parriaux A., Burri, M. & Weidmann, M., 2017. New data on the geology of the hills of Chièstres. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles* 96 : 31-48.

Abstract

Geology of the Chièstres hills and of the ancient glacial trough of Rhône river has been revised. The excavations of the Quaternary cover of the Sous-Vent quarry have shown a series of deposits where it is possible to identify the debris of two major rock avalanches, the first one dating from 10'000 the second one from 4 500 years BP. The calculation of the volumes and the study of the debris prove that these masses are issued from the erosional notch of the Courset torrent. These catastrophic events were extremely rapid. Deep boreholes for groundwater prospecting allow to clarify the morphology of the bedrock in the trough of Châtel-sur-Bex and the nature of the filling sediments. Downwards the village, below a thick series of torrential debris, the boreholes discovered a sheet of fluvioglacial alluvium made of alpine elements. It was deposited in front of the Rhône glacier that was resting on the threshold upwards the village. Paradoxically there are no debris of the rock avalanches in the center of the trough. This testifies to the large kinetic energy of the mass movements.

Keywords : Quaternary geology - rock avalanche - Rhone glacier - dating.

[1] EPFL, ENAC, 1015 Lausanne, aurele.parriaux@epfl.ch
[2] route de Châtel 57, 1880 Bex
[3] sentier du Molard 3, 1805 Jongny, weidmann-dutoit@bluewin.ch

© Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 2017. Tous droits de reproduction réservés. CODEN : BSVAA6 ISSN : 0037-9603

A. Situation

Entre les localités de St Maurice, Massongex, Bex et Lavey, les collines de Chiètres forment un relief que le Rhône franchit dans une gorge étroite (figures 1a et 1b). Ces collines sont isolées du versant gauche par le cours du Rhône et du versant droit par une large dépression où se situe le village du Châtel. À l'ouest, les bords de ce relief sont très escarpés, en paroi entre Sous-Vent et Les Caillettes. Les pentes sont plus modérées au versant sud, en grande partie occupé par des vignes. Ce versant, qui culmine à plus de 600 m, est couronné par une succession de petites collines disposées transversalement à l'axe de la vallée.

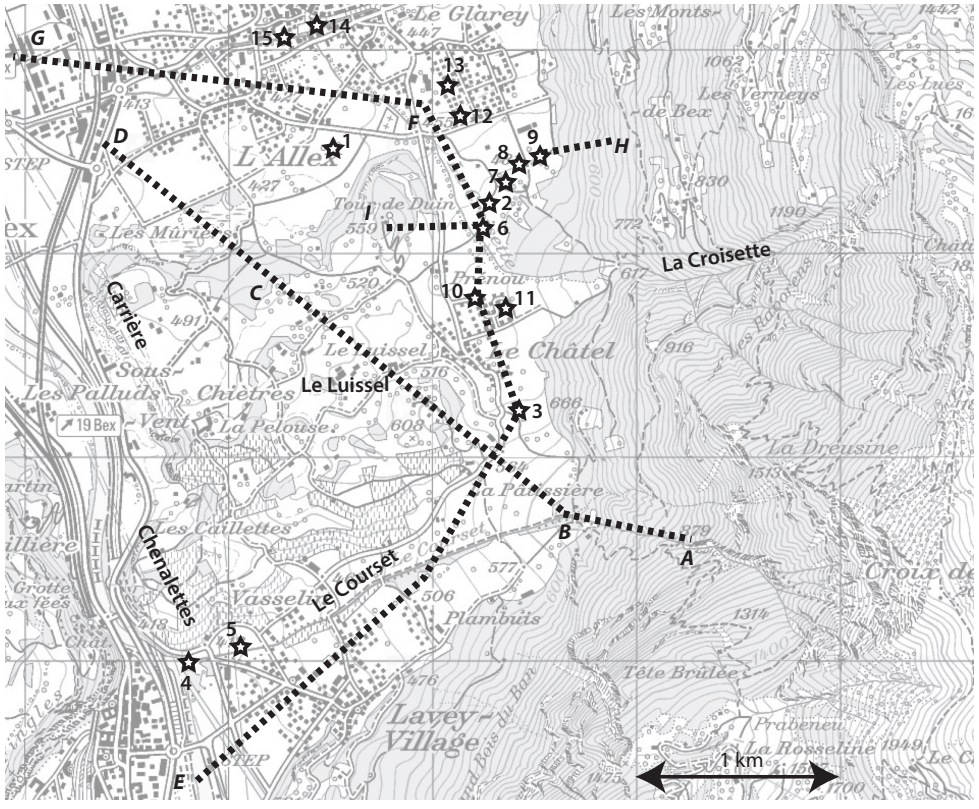

Figure 1. a) Carte de situation : forages (étoiles) et profils A-D, E-G et H-I (points) (reproduit avec l'autorisation de swisstopo JA110138).

Au pied de ces collines, en direction du nord, un relief plus doux est caractérisé par la présence de nombreuses dépressions fermées. Certaines n'ont pas beaucoup plus de 1 m de profondeur, d'autres dépassent 10 m et se transforment en lacs temporaires après de fortes pluies. Les plus importantes sont alignées entre une échancrure de la paroi ouest et le Luissel. Ces dépressions traduisent peut-être en surface une morphologie complexe du substratum rocheux modelé par l'érosion glaciaire.

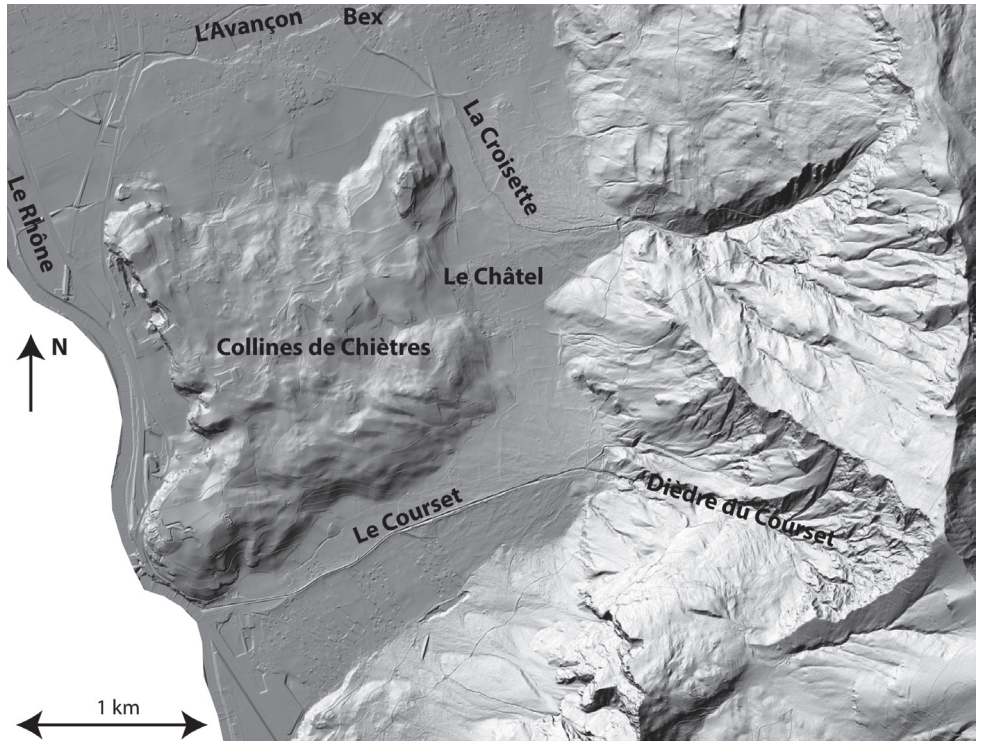

Figure 1. b) Modèle numérique de terrain à haute résolution des collines de Chiètres et du versant oriental de la vallée (source : géodonnées État de Vaud).

B. Travaux précédents

Lugeon & Gagnebin (1937) ont été les premiers auteurs qui ont étudié attentivement la géologie de ces collines et la carte qu'ils établirent (leur figure 1) est peu différente de celle qui a été dessinée ensuite par Badoux *et al.* (1971), à l'exception toutefois des dépôts qui couvrent la surface des collines. Lugeon & Gagnebin ont décrit les diverses formations rocheuses (Valanginien à Urgonien) qui affleurent en parois dominant le Rhône, ainsi que les affleurements de flysch et de Malm de la Tour de Duin. Depuis lors, plusieurs auteurs ont repris l'étude de ces assises : Murat (1956) puis Détraz (1989) ont précisé la stratigraphie du Crétacé et Gabus (1958) a débrouillé les relations complexes des divers éléments de la colline de la Tour de Duin.

Lugeon & Gagnebin (1937) avaient été intrigués par deux observations : les échancrures du versant dans le secteur des Caillettes et la présence du flysch sur toute la surface des collines, mais seulement sous la forme de débris et de quelques blocs épars. Ils interprétèrent les échancrures du versant comme étant la trace d'anciens cours du Rhône maintenant comblés, ce qui est plausible. Quant à la présence du seul flysch, ils concluaient : « Le Flysch forme donc toute la surface des collines de Chiètres que nous avons parcourues en tous sens dans l'espoir d'y trouver soit des blocs erratiques, soit peut-être des lambeaux des nappes préalpines ».

Cependant l'un de nous (Burri 1962, page 50 et figure 4), fort étonné de ne point trouver de matériel morainique à la surface des collines, a signalé à La Pelouse (566.85/120.17) une

fouille profonde de 5 m ne mettant au jour que des fragments de flysch, mais pas de roche en place. Une autre excavation pratiquée en 1960 non loin du bord de la paroi de Sous-Vent (566.37/120.76) montrait la coupe suivante, de bas en haut au-dessus du calcaire crétacé :

1 - moraine rhodanienne grossièrement stratifiée,

2 - mince niveau carbonaté blanc, pulvérulent,

3 - moraine rhodanienne décalcifiée avec galets profondément altérés, indice d'une pédogenèse,

4 - deux couches de fragments anguleux de flysch, séparés par une couche de lœss.

Une nouvelle interprétation de cette coupe attribue les niveaux 2 et 3 à un sol déjà bien évolué et le niveau 4 représenterait les restes de deux éboulements successifs. Le flysch en blocs et fragments épars observé à la surface des collines n'est donc pas en place et l'interprétation qui a été retenue sur la feuille Morcles (Badoux *et al.* 1971) attribue ces dépôts à un « éboulement de flysch et de glace ayant suivi le retrait du glacier wurmien ».

Dubuis *et al.* (1988) relèvent par ailleurs que les profonds fossés entourant les fortifications qui couronnent les collines de Chièstres ont tous été creusés dans l'éboulement de flysch et n'ont pas atteint la roche en place. Ces données ont été confirmées par une autre observation faite dans une fouille ouverte au sud des Caillettes, au niveau de la plaine, lors de l'installation du chantier avant l'exécution du tunnel de l'autoroute (coordonnées. moyennes 566.48/119.58 ; Bezat-Grillet *et al.* 1999, figure 31) : sur le calcaire crétacé repose une moraine rhodanienne peu épaisse, recouverte par 1,2 m de lœss altéré qui a livré une faune de gastéropodes caractéristique d'un climat froid ; la coupe se poursuit par une accumulation de petits fragments de flysch, puis par des argiles à galets rhodaniens, et se termine par une nouvelle couche de lœss.

Lugeon & Gagnebin (1937) postulaient que «… Jadis le Rhône s'écoulait par la dépression si singulière de Lavey-Le Châtel […]. Si on examine une carte d'ensemble, par exemple le 1:50'000, on voit que les parois qui dominent St Maurice, celles du versant gauche de la vallée, décrivent un arc de cercle caractéristique qui se prolonge exactement par le flanc sud des collines de Chièstres. On a devant soi le bord concave d'un grand méandre de l'ancien lit du glacier du Rhône. » Badoux (1971, planche I de la notice explicative de la feuille Dent de Morcles) a dessiné un profil à travers « l'ancien cours du Rhône » postulé par Lugeon & Gagnebin (1937) et passant par Le Châtel : il en situe le fond à la cote 0 m et suggère par son dessin que son remplissage est fluviatile. Mais l'étude gravimétrique de Marchant & Besson (1986), qui permet d'imager la surface du soubassement rocheux de la région (figure 2), montre que cette surface est beaucoup moins profonde sur tout le tracé de « l'ancien cours du Rhône », ce que les sondages récents ont confirmé (voir ci-dessous). L'hypothèse de Lugeon & Gagnebin (1937) doit donc être révisée.

À une époque non précisée, mais avant le dernier maximum glaciaire (Mariétan 1964), c'est vraisemblablement un glacier qui a creusé « la grande vallée du Châtel », remontant une contre-pente de Lavey au Châtel, puis se déversant sur Bex, mais il n'a pas été remplacé par un cours fluviatile classique avec un Rhône s'écoulant du sud vers le nord selon une pente régulière. Remarquons toutefois que la méthode d'investigation gravimétrique ne permet pas de mettre en évidence une gorge très étroite et profonde creusée dans le rocher. Lugeon & Gagnebin (1937, page 333) font clairement référence à l'exemple des gorges de l'Aar, le célèbre « Kirchet de Meiringen », et ils supposent l'existence de telles gorges dans le secteur Caillettes-Chenalettes ; on pourrait aussi en imaginer une sous « la grande vallée du Châtel », mais il n'y a rien qui puisse le démontrer. Les autres études gravimétriques régionales (Wagner 1970,

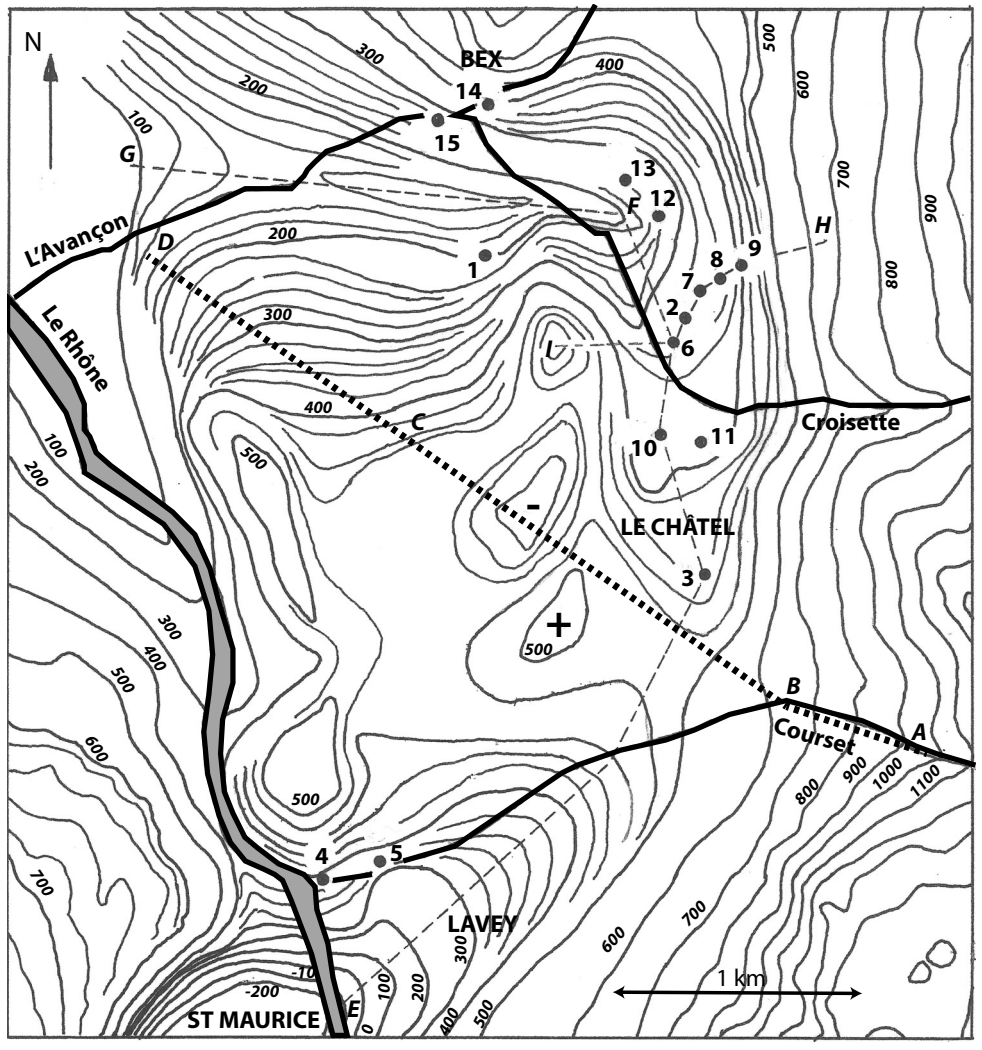

Figure 2. Isohypses du fond rocheux en courbes simplifiées, extraites de la carte gravimétrique établie par Marchant & Besson (1986). Profil EFG dans l'axe du sillon (figure 4), profil transversal IH (figure 5), profil ABCD à travers les collines (figure 8). Points noirs : sondages. + : relief, -- : dépression.

Rosselli 2001, Rosselli & Olivier 2003) n'apportent pas de nouvelles précisions. Par ailleurs, plusieurs reconnaissances sismiques ont été effectuées sur cette zone (Nold & Frei 1991, Monin 1999, Gass 2000) ; l'analyse critique de ces études montre que leurs résultats ne sont pas compatibles avec les données issues des récents sondages, tant en ce qui concerne la cote du substratum rocheux que la nature des terrains meubles.

Enfin, Welten (1982, page 40) a décrit un sondage dans les sédiments du marais du Luissel (587.6/120.4) : sous 4,5 m de dépôts organiques, la sonde a traversé 20 cm de craie lacustre argileuse avant de rencontrer des graviers grossiers qu'elle n'a pu pénétrer. Du matériel organique prélevé juste au-dessus de la craie a permis une datation ^{14}C de 4'790±120 ans BP, soit un âge

calibré d'environ 5'800 ans BP. Beaucoup plus tard, l'homme a occupé le site, comme l'atteste un dépôt votif de divers objets datés du Bronze final (env. 1 300-800 ans av. J.-C.) et retrouvés en 1791 au sommet de la tourbe, lors de l'assèchement du marais (Bocksberger 1964, Dubuis *et al.* 1988, Gallay 2006).

Schneider (2009) reprend et résume la plupart de ces travaux, mais n'apporte pas d'éléments nouveaux.

C. Données nouvelles

1. Carrière de Sous-Vent

Située à 2 km en aval de St Maurice (coord. moy. 566.5/120.7), cette carrière est ouverte dans les assises calcaires du Crétacé. Dans le but d'agrandir l'exploitation, la couverture quaternaire a été évacuée sur une surface d'environ un hectare entre mai 2008 et septembre 2009. Ces travaux ont mis au jour des terrains meubles d'une vingtaine de mètres d'épaisseur qui montrent une stratigraphie complexe et changeante (figure 3).

1. À la base de la coupe, le sommet des assises calcaires présente de nombreuses traces d'érosion glaciaire, telles que roche moutonnée, surfaces striées ou polies, cannelures, canaux en contre-pente (voir la figure 5-1-6 de Schneider 2009).
2. Sur ce soubassement repose une première couche épaisse de quelques dm à plus de 2 m, de couleur jaune, limono-sableuse, riche en galets rhodaniens (en moyenne 25% de quartzites, 30% de gneiss, 40% de micaschistes, 5% de grès et calcaires) ; quelques galets de granite sont fortement altérés. Ce niveau peut être strictement limoneux, ou ne contenir que de rares gros éléments isolés dans des limons qui montrent une vague stratification. L'impression générale est qu'il s'agit d'un dépôt morainique partiellement remanié par les eaux sous-glaciaires. Bien en place à la base de l'entaille de l'exploitation, ce matériel peut être localement déplacé et accumulé par les travaux dans les dépressions du soubassement rocheux (2'). Les pédologues consultés (H. Spaltenstein et P. du Pasquier) s'accordent pour attribuer la couleur jaune de cette assise à des phénomènes de circulation d'eau postérieurs au dépôt ; des enduits noirâtres (manganèse ?) ont vraisemblablement la même origine.
3. Au-dessus de ces dépôts rhodaniens vient une assise continue, mais d'épaisseur très variable, surtout argileuse-limoneuse contenant des éléments plus ou moins grossiers qui ne montrent pas de traces d'usure. Il s'agit surtout de plaquettes de schiste et de fragments gréseux dont les arêtes sont vives. Ces éléments, des grès plus ou moins micacés du flysch, sont d'origine locale. On observe à la base de cette assise de fréquents blocs de calcaire fin sombre (Malm ?), le plus souvent de taille décimétrique, mais parfois plus volumineux comme l'un d'eux, de plusieurs mètres cubes, qui a dû être dynamité. Un tel dépôt peut être attribué à un éboulement ou à une vaste coulée boueuse.
4. Vient ensuite un niveau de loess limoneux dont l'épaisseur va de quelques dm à 1 m ; il soulignait une topographie qui n'a rien à voir avec l'actuelle. Le lœss est daté par thermoluminescence (OSL) de la fin du Dryas supérieur, environ 10'000 ans BC (comm. orale de Michel Guélat ; Guélat 2013). À la base de ce lœss, on note très souvent une couche rougeâtre de 5-10 cm surmontée de limons décarbonatés qui deviennent bruns assez foncés au sommet. Les pédologues consultés estiment que le niveau rouge de la base est dû à des précipitations d'hydroxyde de fer engendrées par le changement des conditions de circulation de l'eau au voisinage de l'assise sous-jacente, relativement imperméable.
5. La couche qui surmonte ce lœss est très variable et n'est pas partout présente, mais elle peut atteindre localement une épaisseur de 5 m. Au centre de l'excavation, c'est une assise graveleuse qui passe à son sommet à des limons très fins et homogènes ; dans la partie méridionale de l'excavation, la couche de lœss (4) et le niveau limoneux supérieur sont séparés par plus de 3 m de graviers. En quelques points, on a pu relever juste au-dessus du lœss un niveau argileux sombre épais de quelques cm, riche en fragments de bois, dans lequel était interstratifié un lit de sable clair. Deux datations ^{14}C des fragments de bois donnent un âge d'environ 4'500 ans BC (ETH-37053 : 4550-4360 BC cal et ETH-37054 : 4710-4500 BC cal ; Gaudillère 2009). C'est très probablement de ce niveau que provient un tronc de chêne que nous n'avons pas observé *in situ* et qui avait été mis de côté à notre intention par le machiniste ; son étude par Hurni *et al.* (2009) révèle que ce chêne était un sujet dominant, dont le rythme de croissance avait été fortement perturbé, qu'il était implanté dans une zone plutôt humide et était en bonne santé lorsqu'il fut abattu par un phénomène naturel (crue, tempête), enfin qu'il n'a pas été charrié ensuite puisqu'il a conservé son écorce. Cette couche 5 est le seul témoin d'une période qui a duré environ 5'000 ans, au cours de laquelle les conditions de sédimentation ont dû beaucoup varier, allant du calme (limons, pédogenèse et développement de la végétation) à une plus haute énergie (graviers fluviatiles), voire à une très haute énergie (érosion partielle ou totale).
6. Le niveau supérieur de cette coupe rappelle fortement la couche 3 : il est fait uniquement de grès du flysch, le plus souvent en petites plaquettes, mais aussi en gros blocs dispersés dans la masse. Des limons arrachés aux assises sous-jacentes sont localement incorporés à la base de la couche 6 sous la forme de galets mous. On peut attribuer ce niveau à un deuxième éboulement ou coulée boueuse, comme pour la couche 3.

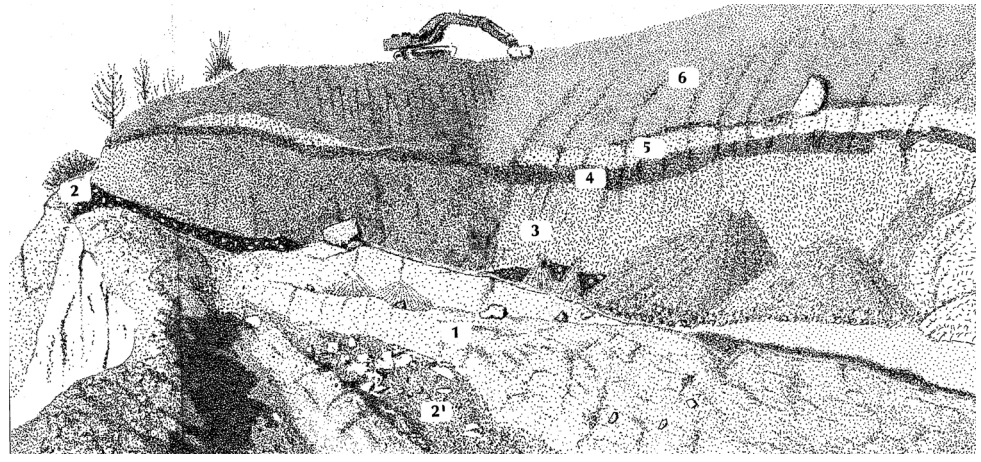

Figure 3. Vue de la couverture quaternaire de la carrière de Sous-Vent. Dessin d'après photos, état en automne 2009. Explications dans le texte.

Une caractéristique morphologique qui avait déjà intrigué Lugeon & Gagnebin (1937) est le relatif isolement de la colline des Chenalettes : elle est en effet séparée des autres collines par une dépression, « une sorte de vallon doux qui descend du nord sur Les Chenalettes », où nos auteurs ont observé « un bloc erratique de quelques mètres cubes en calcaire du Jurassique supérieur. C'est le seul bloc erratique que nous ayons vu sur ces collines ». Il est possible d'en proposer une autre explication : ce bloc aurait la même origine que celui qu'il a fallu dynamiter lors des travaux de déblayement au-dessus de la carrière de Sous-Vent. Ces blocs se seraient donc mis en place lors du premier éboulement. D'autre part, le sol des vignes qui croissent sur Les Chenalettes contient du lœss, bien visible dans le talus d'une petite route (566.7/119.2). Et la colline des Chenalettes est la seule à la surface de laquelle la roche affleure : elle n'aurait donc pas été recouverte par le deuxième éboulement et le « vallon doux » évoqué par Lugeon & Gagnebin correspondrait à la bordure de ce deuxième éboulement.

2. Sondages

L'un de nous (A. P.) a été mandaté par les communes de Bex, Ollon et Monthey pour prospecter de nouvelles ressources en eau potable. Après l'examen critique des différentes reconnaissances géophysiques effectuées sur la région, c'est le modèle gravimétrique de Marchant & Besson (1986) qui fut retenu comme hypothèse de départ (figure 2). Sur cette base, des forages de reconnaissance furent implantés tout au long de la large dépression de Lavey-Le Châtel-Bex (nos 1 à 9 des figures 1 et 2), afin de la tester dans son entier ; ils ont été réalisés en 2012-2014 au marteau fond de trou à l'air et entièrement tubés. La coupe de ces forages est résumée dans l'Annexe et schématisée sur les figures 4 et 5. De plus, nous reprenons quelques sondages antérieurs relativement profonds, principalement destructifs, qui fournissent d'utiles informations (numéros 10 à 15, disponibles sur www.geo.vd.ch/theme/geologie_thm). Après avoir traversé les épais graviers sablo-limoneux des cônes du Courset et de la Croisette, les forages ont rencontré en aval du Châtel, sous ces alluvions de cônes, un dépôt fluvioglaciaire rhodanien très aquifère. Ce site sera mis en exploitation prochainement. De nombreux échantillons des formations meubles ont été lavés sur tamis et examinés sous la loupe binoculaire, afin d'isoler des petits fragments de matière organique pouvant permettre une datation ^{14}C, mais sans succès.

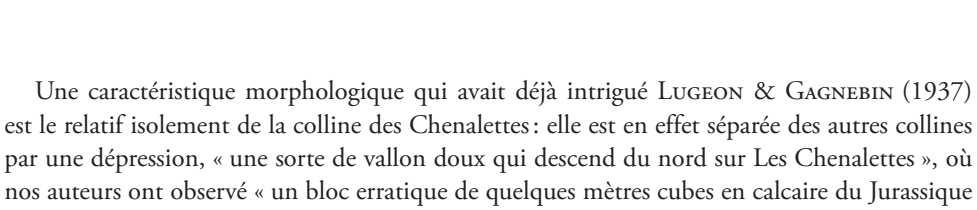

Figure 4. Profil longitudinal de « la grande vallée du Châtel » selon son axe profond déterminé par la gravimétrie (situation sur les figures 1 et 2 : E-F-G). Les numéros correspondent aux numéros des sondages.

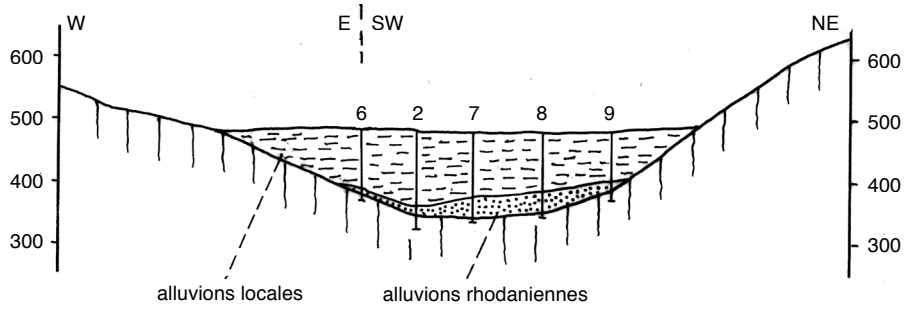

Figure 5. Profil transversal de « la grande vallée du Châtel » à la hauteur de la Tour de Duin, selon les récents sondages et la gravimétrie (situation sur les figures 1 et 2 : H-I). Les numéros correspondent aux numéros des sondages.

La figure 6 est une reconstitution fort hypothétique et non précisément datée de l'environnement glaciaire et périglaciaire des collines (2), alors que le front du glacier du Rhône (1) stationnait juste en amont. À gauche de l'image (Est), les eaux de fonte du torrent sous-glaciaire édifient le cône de graviers rhodaniens qui comble la base de la dépression en aval du Châtel (4). À droite (Ouest), la cluse de Saint-Maurice (5) est peut-être déjà suffisamment érodée pour permettre l'écoulement d'une partie des eaux de fonte. La cote des eaux du lac Léman de l'époque (3) est également hypothétique.

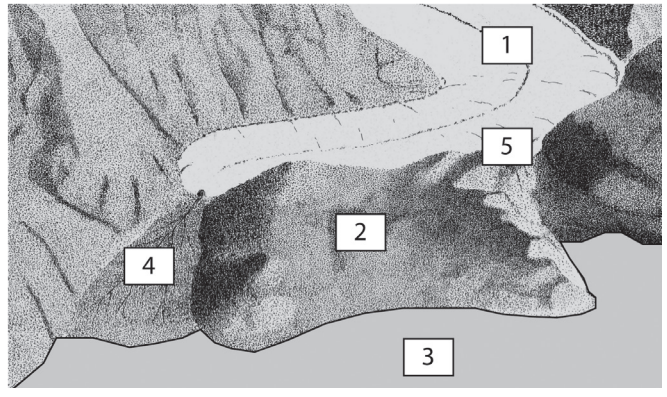

Figure 6. Les collines de Chiètres, vues de l'aval il y a environ 15'000 ans. Légende dans le texte.

3. Origine du matériel et géodynamique des éboulements

Tant les considérations géomorphologiques que pétrographiques convergent vers une origine des éboulements correspondant au dièdre d'érosion du Courset, au-dessous de la Croix de Javerne, dièdre taillé dans le Flysch parautochtone de la Croix de Javerne.

Pour tester la cohérence de cette hypothèse, nous avons effectué quelques calculs des ordres de grandeur des volumes. Il s'agit d'abord de calculer le volume de la zone source, le dièdre du Courset. Pour ce faire, nous avons imaginé la forme du terrain avant les éboulements sur la base de la morphologie des bords du dièdre. Cette opération est précise sur la lèvre droite (septentrionale) et dans le haut, elle est plus imprécise sur la lèvre rive gauche (méridionale) qui est moins tranchée. Sur cette base, une série de profils en travers ont été dessinés, qui portent cette

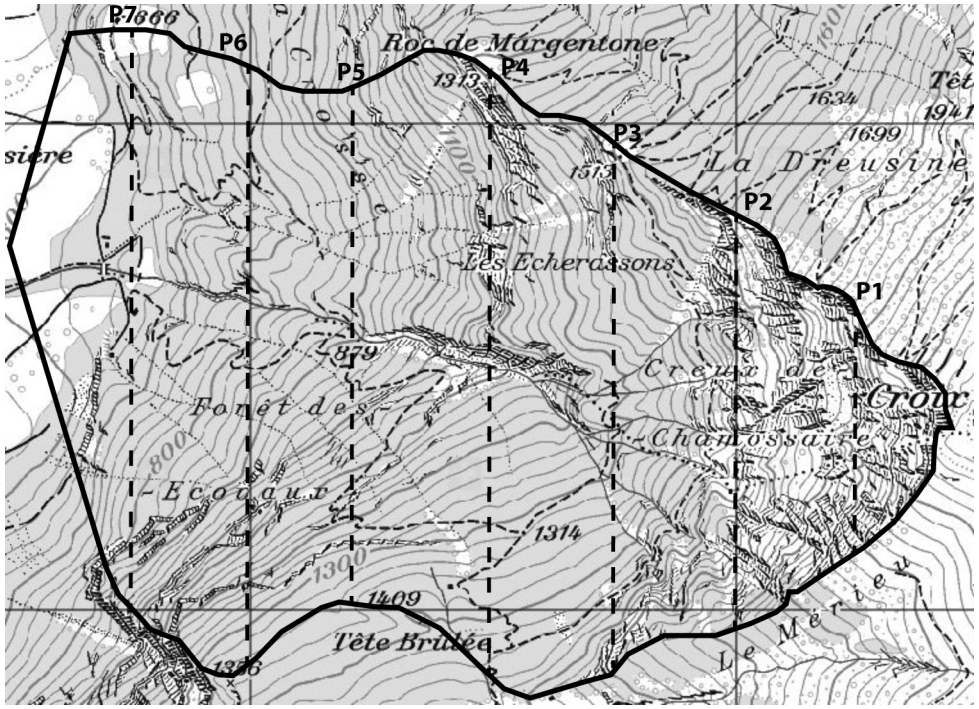

Figure 7. a) Le dièdre d'érosion du Courset et la situation des profils en travers P1 à P7 (carte reproduite avec l'autorisation de swisstopo JA110138).

surface originelle supposée et la topographie actuelle (figure 7 a, b). Les volumes de chaque tranche ont été ensuite intégrés pour obtenir le volume total théorique de 213 millions de m^3, soit, avec les incertitudes, de l'ordre de 200 millions de m^3.

Si l'on examine le volume très approximatif des masses sédimentaires issues de cette érosion, il faut considérer essentiellement le cône du Courset et les deux éboulements recouvrant les collines. Le volume des alluvions du cône du Courset peut être estimé sur la base d'une superficie de 1,2 km^2. Selon les différents forages implantés dans ces sédiments (une centaine de mètres dans la zone radicale mais beaucoup moins dans le pied sous Lavey et sur les bords), une épaisseur moyenne d'environ 30 m paraît réaliste. Cela donne un volume d'environ 36 millions de m^3, soit à peine une vingtaine de pourcents du volume source.

Le même genre de calculs peut être fait pour les éboulements. Pour cela nous avons tracé un profil qui débute dans le cours supérieur du Courset et qui traverse de part en part les collines (figure 8).

Pour déterminer la position du rocher sous les collines, nous avons suivi la carte gravimétrique de Marchant & Besson (1986) puisqu'elle s'est avérée particulièrement performante pour la partie sillon. Là aussi, pour intégrer les grandes épaisseurs de la partie centrale (près de 100 m) et les épaisseurs beaucoup plus faibles sur les bordures, on peut estimer l'épaisseur moyenne de l'ordre d'une trentaine de mètres. L'extension en plan de l'éboulement étant d'environ 1,7 km^2, son volume théorique serait de 51 millions de m^3, ce qui correspond à quelque 25 % de la masse source. Le solde, soit plus de 100 millions de m^3 et plus de la moitié du volume source, correspond à l'exportation par le transport solide des rivières (tableau 1).

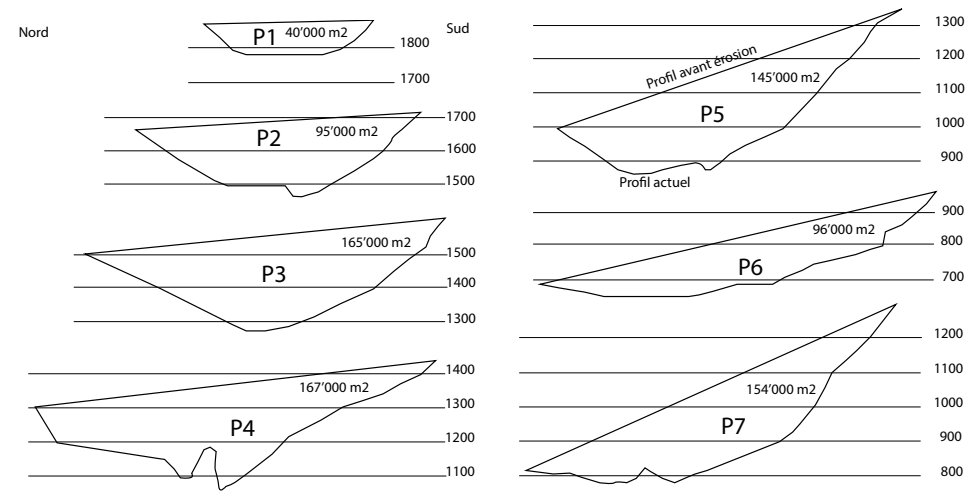

Figure 7. b) Profils en travers P1 à P7 et calcul des volumes du dièdre selon Vtot = V1 + V2 + V3 + V4 + V5 + V6 + V7 = 0.213 km^3 (les superficies des profils sont pondérées par l'espace entre les profils).

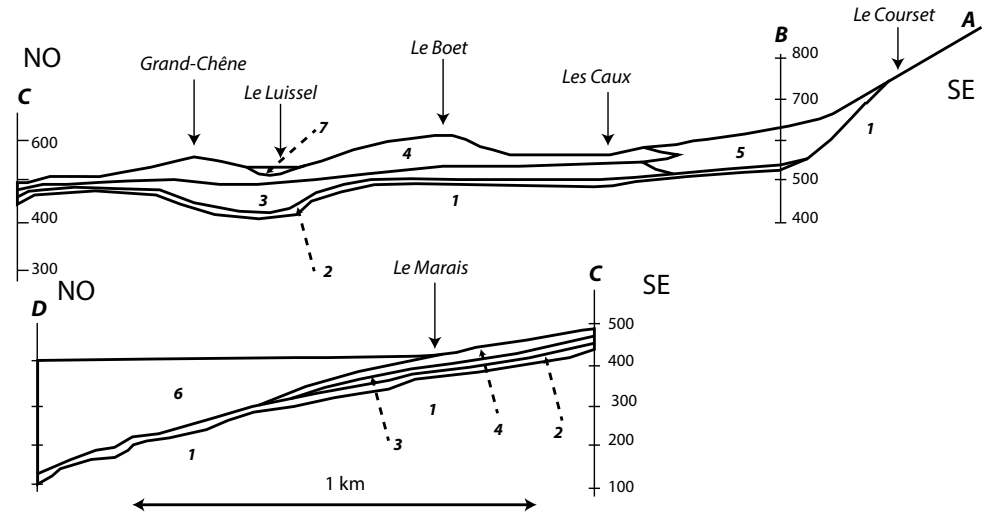

Figure 8. Profil sud-est / nord-ouest (A/D). Partant du pied du dièdre d'érosion du Courset, traversant les collines et se terminant au Marais de Bex ; voir sa situation sur la figure 1. 1) substratum rocheux. 2) moraine de fond. 3) premier éboulement. 4) second éboulement. 5) sédiments de cône de déjection. 6) alluvions du Rhône. 7) sédiments palustres.

Tableau 1. Calcul du bilan des volumes.

Corps	Aire [km^2]	Profondeur moy. [m]	Volume théorique [10^6 m^3]	part [%]
Dièdre	1.7	180	213	100
Cône	1.2	30	36	17
Éboulements	1.7	30	51	24
Exportation			126	59

On montre donc que le dièdre d'érosion du Courset présente un volume bien suffisant pour expliquer l'origine du matériel recouvrant les collines. À lui seul, le calcul des volumes n'est toutefois pas assez démonstratif pour attribuer ce dépôt à des éboulements. La vraisemblance géodynamique doit également être testée. À l'évidence, nous avons affaire à des évènements de très forte énergie cinétique en raison de la distance parcourue par le matériel. Dans la littérature sur ce type de mouvements rapides impliquant des volumes importants, on caractérise le rapport entre la hauteur de chute et la distance parcourue. Suivant Heim (1932), nous avons considéré la hauteur de chute maximale H, soit le sommet de la niche d'arrachement, et la distance maximale parcourue L : L = 4 500 m et H = 1 500 m (figure 9). L'angle de la pente est ici égal à arctan (0.33) = 18.4°.

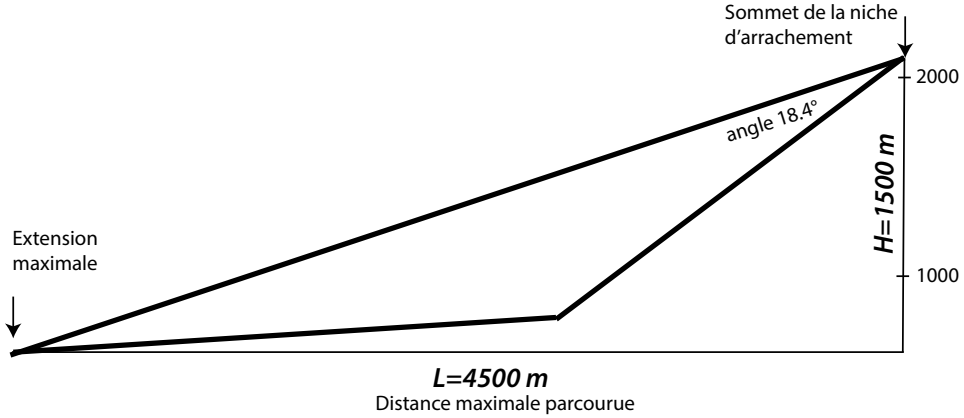

Figure 9 - Rapport hauteur – distance parcourue par le second éboulement.

En considérant le second éboulement, dont la zone de départ serait le haut du dièdre et en supposant que son volume correspond à la moitié de la masse éboulée, soit 100 millions de m^3, l'évènement entre dans le diagramme des grands éboulements, par exemple cité par Rickenmann en 2005 (figure 10). On constate dans ce graphique que le cas du Courset présente un angle à la limite inférieure des glissements et rock avalanches de même volume.

Un élément important réside dans l'absence de matériel éboulé dans le sillon qui passe au pied de la pente. En effet, la comparaison entre les cuttings issus des forages de recherche d'eau et les débris de flysch récoltés sur les collines est parlante. Les premiers montrent des éléments à très faible arrondi mais toujours avec des arêtes émoussées. Les seconds, au contraire, ne présentent pas d'usure des arêtes. Cet argument fait aussi préférer un mécanisme d'éboulement à une coulée de boue. Mais comment est-ce possible qu'on ne trouve pas de matériel éboulé au pied du versant ? L'étude d'évènements catastrophiques similaires, où le matériel a glissé et chuté quasi instantanément, avec une grande énergie cinétique, montre également une masse très étalée vers l'avant et très peu de matériel en pied de versant. L'exemple du grand glissement rocheux de Frank dans les Rocheuses canadiennes correspond bien à ce cas (figure 11).

En conclusion, il apparaît cohérent d'attribuer les deux masses de débris des collines de Chiètres à des évènements de glissement rocheux volumineux et rapides issus du dièdre d'érosion du Courset.

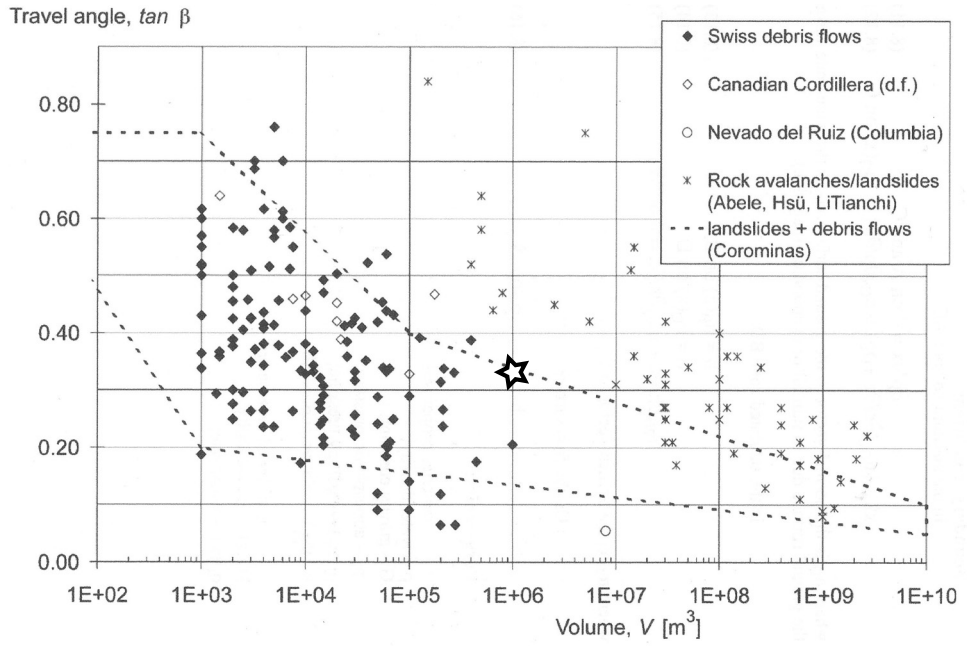

Figure 10 - Diagramme H/L – volume. Étoile = cas du Courset. X = glissements et « rock avalanches ». Graphique de base tiré de Rickenmann (2005).

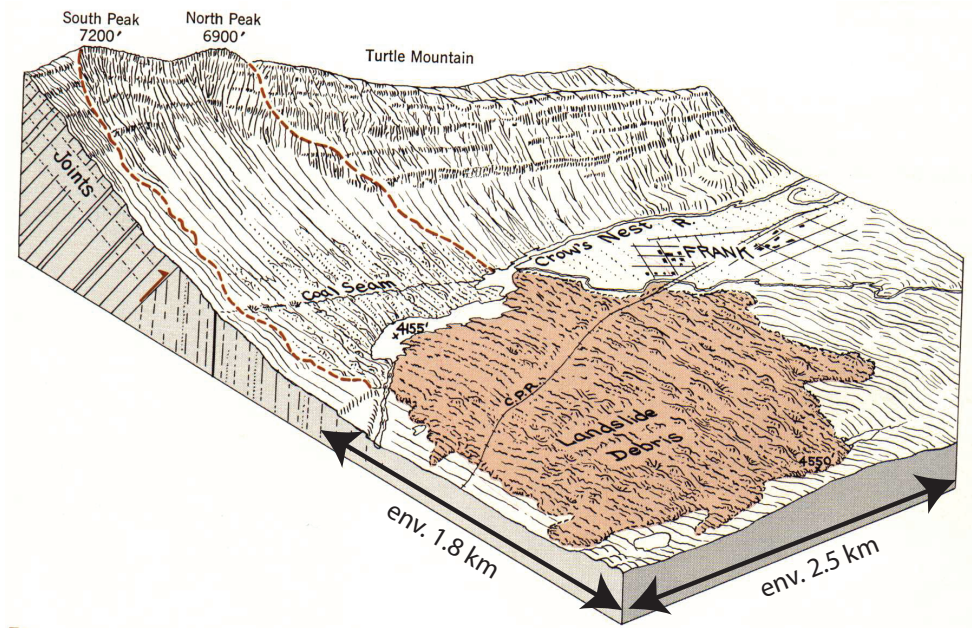

Figure 11 - Bloc-diagramme du glissement rocheux de Frank en 1903 (Alberta, Rocheuses canadiennes). Avec, à l'arrière de la masse accumulée, une zone déprimée occupée par un lac. Les altitudes sont en pieds. Image tirée de Strahler (1969). Voir aussi https://en.wikipedia.org/wiki/Frank_Slide.

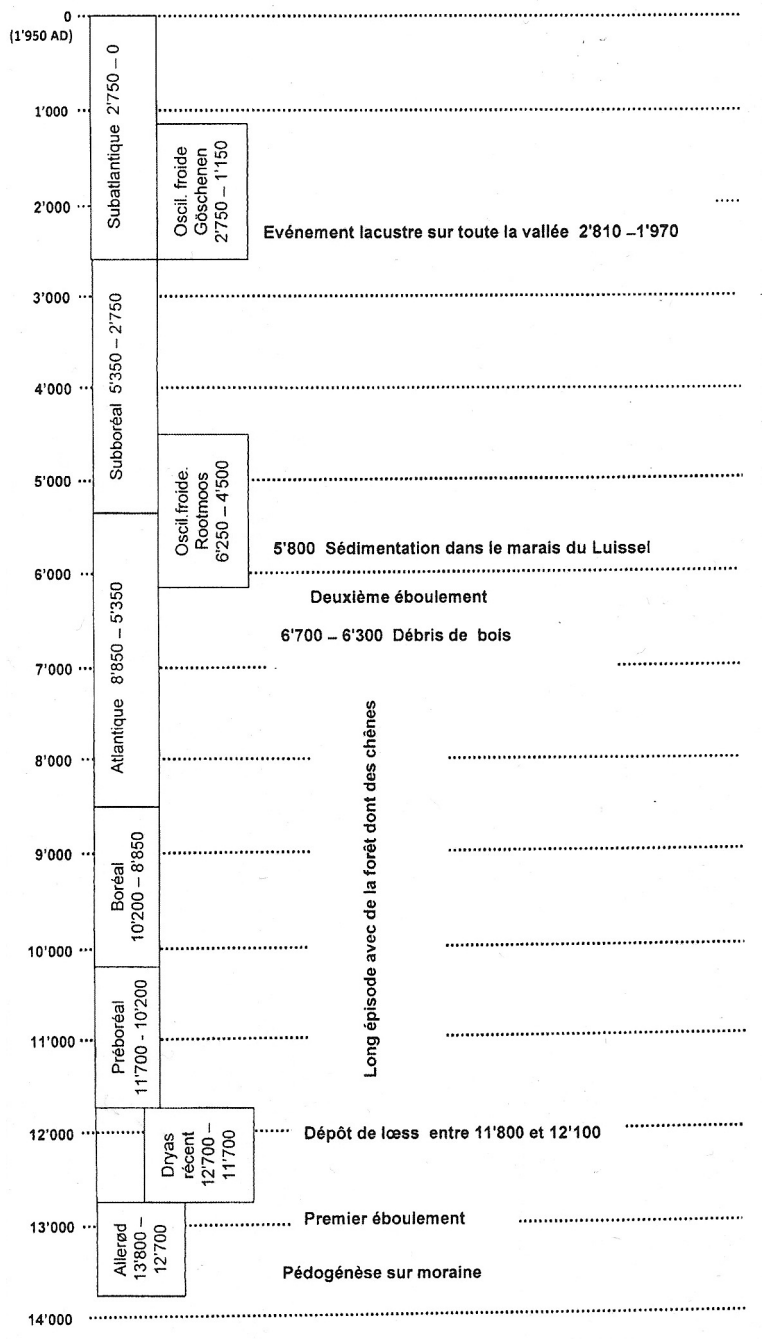

Figure 12 - Résumé de la chronologie. Dates en années BP calibrées.

D. Synthèse

La figure 12 résume la succession des évènements enregistrés sur les collines de Chiètres.

1 - Érosion glaciaire non datée de la dépression passant par Lavey-Le Châtel-Bex (« ancien cours du Rhône »).
2 - Sur la roche en place, le glacier abandonne une moraine rhodanienne qui est ensuite assez profondément altérée au cours d'une pédogenèse. Un premier lœss recouvre la moraine; il contient une faune de gastéropodes caractéristique d'un climat froid. Âge probable: interstade de l'Allerœd.
3 - Un éboulement de flysch avec des blocs de calcaire, descendu du massif de la Croix de Javerne, recouvre les collines de Chiètres. Âge probable: refroidissement du Dryas récent.
4 - Nouveau dépôt de lœss daté de la fin de cet épisode froid.
5 - S'ensuit une période prolongée qui n'a laissé que peu de traces et à la fin de laquelle un sol avec fragments de bois a permis une datation de la période de l'Atlantique.
6 - Deuxième éboulement ne déplaçant que des fragments de flysch.
7 - Début de la sédimentation dans le marais de Luissel, vers la limite Atlantique / Subboréal.
8 - Assèchement du marais de Luissel, dépôt d'objets, Âge du Bronze.
9 - Afin de compléter la suite des évènements ayant affecté ce secteur de la vallée du Rhône, mais semble-t-il pas les collines de Chiètres, nous avons reporté sur ce tableau un épisode lacustre récemment découvert (Boulicault *et al.* 2014) qui daterait de la fin de l'âge du Bronze et de l'âge du Fer. Ce lac a brièvement noyé toute la vallée et son barrage temporaire, culminant à la cote 520 m environ, était dû à un éboulement probablement situé vers St Maurice.

Remerciements

Les communes de Bex, Ollon et Monthey nous ont accordé l'autorisation de publier les sondages. Nos collègues H. Spaltenstein, P. du Pasquier, R. Marchant, M. Guélat et M. Sartori ont transmis divers documents et d'utiles renseignements. Swisstopo nous a autorisés à utiliser sa base topographique. Le rédacteur et les deux réviseurs nous ont fait de fort pertinentes critiques et suggestions. Nous les en remercions tous chaleureusement.

Bibliographie

Badoux H., Burri M., Gabus J. H. *et al.,* 1971. Feuille 58, Dent de Morcles de l'Atlas géologique de la Suisse au 1:25'000, avec notice explicative par H. Badoux. *Comm. géol. suisse, Bâle*.

Bezat-Grillet E., Bezat P.-A., Burri F., Burri M. 1999. Le Duzillet: esquisse environnementale des plantes, des animaux et des hommes. *Mémoire de la Société Vaudoise des Sciences naturelles* 19: 325-338.

Bocksberger O.-J. 1964. Âge du Bronze en Valais et dans le Chablais vaudois. Thèse Université de Lausanne, Imprimerie centrale, Lausanne.

Boulicault L., Sartori M., Moreau J., Corboud P., Moscariello A. 2014. Late Holocene lacustrine deposits newly discovered within the Losentse alluvial fan in the Central Rhône Valley, SW Switzerland. *12th Swiss geological meeting Fribourg 2014.*

Burri M. 1962. Les dépôts quaternaires de la vallée du Rhône entre St Maurice et le Léman. *Bulletin de la Murithienne* 78: 36-59.

Détraz H. 1989. Exemple de sédimentation sur une plate-forme externe bioclastique dominée par les marées : l'Autochtone de St-Maurice (Valais, Suisse). *Eclogae geologicae Helvetiae* 82/3 : 795-815.
Dubuis F.-O., Lugon A., Weidmann D. 1988. Guide du château et des fortifications de Saint-Maurice. *Cahier d'archéologie romande* 35 : p. 122.
Gabus J. H. 1958. L'Ultrahelvétique entre Derborence et Bex (Alpes vaudoises). *Matériaux Carte géologique de la Suisse, N. S.* 106.
Gallay A. (réd.) 2006. Des Alpes au Léman : images de la préhistoire. Infolio éditions, Gollion, p. 243 et 332.
Gass S. 2000. Etude d'un paléocours du Rhône entre Le Châtel et Bex, par la sismique-réflexion haute résolution et autres méthodes géophysiques. Diplôme de géophysique, Institut de Géophysique. Université de Lausanne, 156 p. (inédit).
Gaudillère C. 2009. Sondages et surveillance archéologique. Extension de la carrière de Sous-Vent. Bureau Aria SA, Sion, rapport inédit.
Guélat M. 2013. Les lœss de la Vallée du Rhône. *Bulletin de la Murithienne* 131 : 109.
Heim Alb. 1932. Bergsturz und Menschenleben. *Beiblatt zur Vierteljahrschrift der naturforchenden Gesellschaft Zürich* 77 : Beiblatt 20.
Hurni J.-P., Tercier J., Orcel C. 2009. Etude d'un tronc de chêne de Sous-Vent. Laboratoire Romand de Dendrochronologie, Moudon, rapport inédit 09/R6211.
Lugeon M. & Gagnebin E. 1937. La géologie des collines de Chiètres. *Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles* 59 : 325-334.
Marchant R. & Besson O. 1986. Etude gravimétrique des collines de Chiètres. Diplôme de géophysique, Inst. Géophys. Université de Lausanne, 126 p. (inédit).
Mariétan I. 1964. Note sur la formation de la marmite glaciaire des Caillettes. *Bulletin de la Murithienne* 81 : 81-83.
Monin G. 1999. Etude sismique de la région Lavey-Le Châtel (VD, Suisse). Diplôme de géophysique, Inst. Géophys. Université de Lausanne, 100 p. (inédit).
Murat R. 1956. Existence et signification de filons clastiques dans le Barrémien inférieur de l'Autochtone de Saint-Maurice, Valais. *Archives des Sciences Genève* 9/1.
Nold M. & Frei W. 1991. Rapport final de l'étude sismique dans la région de Vauvrise/Valentine, Commune de Bex. Geoexpert AG, rapport inédit (juin).
Rickenmann D. 2005. Runout prediction methods. *In* : Jakob M. & Hungr O. (eds) : Debris-Flow Hazards and Related Phenomena, pp. 263-282. Praxis-Springer, Heidelberg.
Rosselli A. 2001. Modélisation gravimétrique bi- et tridimensionnelle du substratum rocheux des vallées alpines. Applications à la Vallée du Rhône (Suisse), à la vallée de l'Adige (Italie) et au glacier de Lobbia (Italie). Thèse Fac. Sciences Université de Lausanne, 161 p.
Rosselli A. & Olivier R. 2003. Modélisation gravimétrique 2.5D et cartes des isohypses au 1 :100'000 du substratum rocheux de la Vallée du Rhône entre Villeneuve et Brig (Suisse). *Eclogae geologicae Helvetiae* 96 : 399-423.
Schneider V. 2009. Valorisation du patrimoine glaciaire de la cluse du Rhône et du Chablais. Maîtrise universitaire ès sciences en géographie, Université de Lausanne, 217 p.
Strahler A. N. 1969. Physical Geography, 3rd edition, J. Wiley & Sons, London.
Wagner J.-J. 1970. Elaboration d'une carte d'Anomalie de Bouguer. Etude de la vallée du Rhône de St Maurice à Saxon (Suisse). *Matériel Géologique de Suisse, Série* Géophysique 9 : 91 p.
Welten M. 1982. Vegetationgeschichtliche Untersuchungen in den westlichen Schweizer Alpen. *Mémoires de la Société helvétique des Sciences naturelles* 95.

ANNEXE. Description synthétique des forages

n° **1**, coord. 567.474/121.506, alt. 437, prof. 95 m
0-95 m : alluvions graveleuses calcaires d'origine locale ; rares passages sableux ou limoneux

n° **2**, coord. 568.286/121.249, alt. 487, prof. 156 m
0-116 m : alluvions graveleuses locales, surtout grès et calcaire gréseux du Flysch
116-133 : alluvions graveleuses rhodaniennes à éléments d'origine pennique
133-env. 145 : calcarénite et oosparite fossilifère = Valanginien calcaire ?
env. 145-156 : calcaire gréseux peu glauconieux = Hauterivien gréseux ?

n° **3**, coord. 568.383/120.233, alt. 543, prof. 166 m
0-103 m : alluvions graveleuses locales, surtout grès et calcaire gréseux, plus limoneux de 95 à 103
103-166 : grès, calcaire gréseux et marne schisteuse noire du Flysch

n° **4**, coord. 566.819/118.989, alt. 409, prof. 44 m
0-4.5 m : remblai
4.5-14.5 : alluvions graveleuses locales
14.5-27 : moraine ou alluvions limoneuses rhodaniennes
27-44 : calcaire micritique foncé, bioclastique = Valanginien calcaire

n° **5**, coord. 567.043/119.058, alt. 420, prof. 86 m
0-env. 65 m : alluvions graveleuses locales
env. 65-68 : alluvions graveleuses rhodaniennes
68-86 : calcaire micritique foncé, bioclastique = Valanginien calcaire

n° **6**, coord. 568.292/121.267, alt. 489, prof. 120 m
0-100 m : alluvions graveleuses locales
100-env. 108 : alluvions graveleuses rhodaniennes
env. 108-120 : calcaire micritique foncé, bioclastique = Valanginien calcaire

n° **7**, coord. 568.348/121.336, alt. 485, prof. 146 m
0-102 m : alluvions graveleuses locales
102-107 : sable beige avec gravier rhodanien
107-139 : alluvions graveleuses rhodaniennes
139-146 : calcaire micritique foncé, bioclastique = Valanginien calcaire

n° **8**, coord. 568.405/121.403, alt. 482, prof. 138 m
0-91 m : alluvions graveleuses locales
91-133 : alluvions graveleuses rhodaniennes
133-138 : Flysch argileux noir

n° **9**, coord. 568.489/121.433, alt. 481, prof. 106 m
0-77 m : alluvions graveleuses locales
77-95 : alluvions graveleuses rhodaniennes
95-106 : Flysch gréso-marneux

n° **10**, coord. 568.235/120.785, alt. 510, prof. 80 m
0-56 m : alluvions graveleuses locales
56-60 : niveau limoneux gris sombre
60-80 : alluvions graveleuses locales

n° **11**, coord. 568.335/120.750, alt. 515, prof. 82 m
0-68 m : alluvions graveleuses locales
68-70 : niveau limoneux gris sombre
70-82 : alluvions graveleuses locales

n° **12**, coord. 568.185/121.675, alt. 454, prof. 86 m
0-86 m : alluvions graveleuses locales

n° **13**, coord. 568.050/121.820, alt. 449, prof. 100 m
0-100 m : alluvions graveleuses locales

n° **14**, coord. 567.340/122.095, alt. 426.2, prof. 82.7 m
0-21.6 m : alluvions graveleuses
21.6-23.5 : moraine
23.5-61.0 : moraine ou fluvioglaciaire local
61.0-82.7 : gypse et anhydrite (Trias Ultrahelvétique)

n° **15**, coord. 567.250/122.060, alt. 425, prof. 114 m
0-75 m : alluvions graveleuses locales
75-114 : Flysch argileux noir

Les chênes séculaires de Duillier (VD) : un sanctuaire pour des Coléoptères saproxyliques exceptionnels

Stève BREITENMOSER[1]

Breitenmoser S., 2017. Les chênes séculaires de Duillier (VD) : un sanctuaire pour des Coléoptères saproxyliques exceptionnels. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 96 : 49-76.

Résumé

Après huit années d'inventaires le long des allées de chênes séculaires à Duillier (VD), 202 espèces de coléoptères ont été répertoriées, dont près de la moitié (46.5%) sont saproxyliques. Parmi ces espèces liées au bois, 38 sont peu fréquentes à rares et/ou particulièrement exigeantes en termes de micro-habitats et de besoins écologiques. Elles sont considérées comme « emblématiques » de Suisse et indiquent la qualité des milieux boisés, tout en exprimant un intérêt conservatoire au niveau national. Parmi ces 38 espèces, six appartiennent aux espèces reliques de forêts primaires, et sont particulièrement rares. L'importante population de Grand capricorne a conduit le canton à élaborer des mesures pour sa préservation. La pérennisation de ces chênes permet ainsi de sauvegarder cette espèce relique et protégée mais également de nombreuses autres espèces de coléoptères saproxyliques rares et exigeantes.

Mots clés : faunistique, espèces emblématiques et reliques, *Ampedus cardinalis, Cerambyx cerdo, Lacon querceus,* conservation

Breitenmoser S., 2017. Secular oaks of Duillier (Vaud, Switzerland) : a sanctuary for exceptional saproxylic beetle species. *Bulletin de la Société vaudoise des Sciences naturelles*, 96 : 49-76.

Abstract

After eight years of inventories along the alleys of secular oaks in Duillier (VD), 202 beetle species were identified and nearly half of them (46.5 %) are saproxylic. Among these timber depending species, there are 38 species that are uncommon to rare and/or are particularly exigent in terms of micro-habitat and ecological requirements. They are considered as « emblematic » for Switzerland and they provide an indication on forest quality. Simultaneously they are of a high national interest for conservation. Among these 38 species, six belong to relict species for primary forest and they are particularly rare. The important population of the Great capricorn beetle has led the canton of Vaud to develop measures for its conservation. The preservation of these oaks allows not only to save this protected relict species, but it also conserves many other saproxylic beetle species that are rare and particularly exigent.

Keywords : faunistic, emblematic and relict species, *Ampedus cardinalis, Cerambyx cerdo, Lacon querceus,* conservation

[1] Chemin de Couvaloup 8, CH-1271 Givrins, steve.breitenmoser@bluewin.ch

© Société Vaudoise des Sciences Naturelles, 2017. Tous droits de reproduction réservés. CODEN : BSVAA6 ISSN : 0037-9603