

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 57 (1929-1932)
Heft: 223

Artikel: L'écroulement d'Arvel (Villeneuve) de 1922
Autor: Choffat, P.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-284145>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 12.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

L'écroulement d'Arvel (Villeneuve) de 1922

PAR

Ph. CHOFFAT, ing.

INTRODUCTION

Le 14 mars 1922 avait lieu, aux carrières d'Arvel, près de Villeneuve (Vaud), l'écroulement d'un escarpement rocheux qui ensevelissait les deux tiers des chantiers sous un vaste talus d'éboulis, et soulevait neuf hectares de la Plaine du Rhône. Ce soulèvement, dû à la poussée tangentielle de la masse frontale des éboulis, était caractérisé par des plis arqués plus ou moins hauts, figurant des plissements géologiques.

Je fus tenté d'en cartographier les formes, mais comprenant l'intérêt que prenaient à cette étude MM. le Professeur Lugeon et E. Joukowsky, je fus conduit peu à peu à étendre et perfectionner mes levés et mon étude jusqu'au point où je la présente actuellement.

Je tiens à remercier ici les personnes dont l'aide et le conseil m'ont permis d'atteindre l'état de cette étude, et en particulier :

M. le Professeur M. Lugeon, qui me communiqua de nombreuses photographies dont je publie quelques-unes; MM. les Professeurs P.-L. Mercanton, H. Chenaux, H. Lagotala, qui me prêtèrent des instruments de topographie; la Société vaudoise des Sciences naturelles, qui fut prête à s'intéresser à un projet de levé cartographique par avion que je ne mis pas à exécution à cause des difficultés de vol dans ces parages; MM. Chessex, directeur de la Société des carrières d'Arvel et de Reuchenette, et Noverraz, gérant des cultures de la Société de conserves de Saxon, le Département de l'Agriculture

du Canton de Vaud, la Municipalité de Villeneuve, qui me donnèrent de nombreux renseignements: M. G. de Jongh, photographe à Lausanne, et MM. R. Bron, ingénieur, et Jules Choffat, qui m'aidèrent aux levés; et spécialement M. le Dr E. Joukowsky, qui suivit avec dévouement le développement de mes travaux et fit mettre à ma disposition le laboratoire de photographie du Musée d'histoire naturelle de Genève, où je trouvai de grandes facilités pour les travaux photographiques de bureau.

§ 1. Préambule.

Tout d'abord, je voudrais proposer qu'on évite d'employer sans distinction le terme « éboulement » à des phénomènes très différents, et que l'on accepte une certaine spécification. Des « éboulements » d'Arvel, de Soméo, du Mühlehorn, du Saint-Barthelémy, à celui à prévoir du Motto d'Arbino¹, il y a trop de différence pour ne pas distinguer un « écroulement », d'un « glissement », d'une « débâcle », ou d'un « mouvement ». J'emploierai ici le terme « écroulement ».

Grâce à des photographies prises juste avant l'écroulement, j'ai pu restituer un plan topographique antérieur à l'écroulement (Pl. II, Fig. 2), qui m'a permis de baser l'étude des éléments géométriques du phénomène et d'aborder l'étude mécanique, qui paraîtra à l'occasion sous une forme plus détaillée.

§ 2. Etat antérieur à l'accident.

Nous avons affaire à Arvel au versant rocheux d'une ancienne vallée glaciaire, de profondeur inconnue, occupée par le lac Léman, mais alluvionnée ensuite dans les temps historiques. Les alluvions de remplissage sont des limons plus ou moins terreux, sableux ou tourbeux, avec peu de gravier et non cimentés².

Etant donné la faible altitude de la plaine au-dessus du niveau du lac Léman, la nappe phréatique y est presque affleurante. Bonard y trouvait que des puits d'expérience s'y remplissaient presque jusqu'au bord. Ce sol limoneux est si peu résistant qu'on risque d'enliser les machines en labourant au tracteur, et qu'on a trouvé au bord de la route can-

¹ Actuellement effectué.

² Rapport sur les conditions géologiques des environs de Villeneuve, A. BONARD, mars 1905. — Service des améliorations foncières, Lausanne.

tonale Villeneuve-Aigle, il y a quelques années, lors de travaux d'assainissement, des troncs de chêne enlisés. On ne sait pas jusqu'à quelle profondeur atteignent ces dépôts, mais l'étude volumétrique de l'éroulement implique un chiffre pouvant dépasser une quinzaine de mètres.

La roche de la paroi est une brèche oolitique calcaire (« marbre rose d'Arvel ») traversée à mi-hauteur par un banc de marne noire fossilifère plongeant d'une façon marquée vers l'intérieur de la montagne, au SE, et reposant sur des calcaires moins résistants (« pierre grise d'Arvel ») (Pl. II. Profil 450 000 m³).

L'escarpement dominant les chantiers (Pl. II Fig. 2) se trouvait évidemment en retrait de l'ancien front naturel de la montagne de ce qui en avait été exploité précédemment; il atteignait 120 mètres de haut, mais était arc-bouté contre deux contreforts. Pourtant, on y observait quelques fissures (diaclasses) qui ne présentaient rien d'anormal.

Au pied de cet escarpement s'étendaient divers gradins de chantiers, étagés au-dessus d'une double voie normale de service raccordée à la station de Villeneuve; ces voies, en courbe convexe vers la montagne, allaient jusqu'à la fabrique de ballast située à l'extrémité Sud des carrières. Quelques constructions en pierre sèche et des maisons de service étaient dans les chantiers ou aux abords immédiats.

A l'Ouest des voies s'étendait un plateau, haut de 6 à 7 mètres, des déblais inutilisables déposés sur les limons de la plaine. Plus à l'Ouest, entre ce plateau et une route droite, s'étendaient des prés traversés par un chemin empierré. La route en remblai, également empierrée, était longée par un canal d'assainissement à ciel ouvert, qui écoulait ses eaux vers le Sud et passait à proximité de deux hangars de la Société des Cultures de Saxon, d'un hangar à bois et d'un hangar abritant le moteur d'un téléphérique qui descendait du bois par-dessus les carrières.

Plus à l'Ouest encore, s'étendaient fort loin des champs défrichés.

§ 3. L'accident.

Quelques manifestations inquiétantes dans l'escarpement, et le rapport verbal de bûcherons qui avaient observé dans la forêt dominante une fissure s'élargissant, portèrent la Direction des Carrières à faire évacuer le matériel et à appeler

M. le Professeur M. Lugeon pour connaître son opinion sur la durée probable de stabilité.

Je laisse ici la place à une note expressive communiquée par ce géologue éminent:

« Le 13 mars 1922, la Direction des Carrières d'Arvel me priait de venir examiner sur place un escarpement rocheux qui donnait de l'inquiétude.

» Le 14 au matin, vers les 9 heures, nous étions sur les lieux, MM. les ingénieurs Koller, Président du Conseil d'administration des Carrières, Chessex, Directeur, et moi-même.

» M. Koller, moins ingambe que les deux autres visiteurs, désira rester près du bâtiment de la forge, et nous fûmes tous deux, M. Chessex et moi, examiner d'aussi près que possible la grande paroi. La carrière était déserte, ainsi que ses abords immédiats, des ordres avaient été déjà donnés au personnel d'avoir à évacuer provisoirement les lieux et l'on désirait savoir de moi ce qu'il y avait à faire et si la montagne pouvait encore rester stable quelques jours.

» Nous avançâmes jusqu'en face de la paroi menaçante, à une distance d'elle d'environ 200 mètres.

» C'était très impressionnant. Devant nous, le grand chantier abandonné comme déjà frappé de mort. Mais le silence était périodiquement troublé par de sèches détonations, tantôt à gauche, tantôt à droite. C'était la roche qui éclatait le long de la trace du plan de la rupture prochaine. La détonation était souvent accompagnée par un jet de poussière, de pierres petites lancées dans l'espace, puis par de plus grosses masses qui chutaient et roulaient sur le pied du talus.

» Ainsi la roche soumise à des tensions énormes éclatait; la montagne entre les deux lignes d'éclatement était donc mobile.

» Il ne me fut pas possible de dire si l'écroulement était proche, pouvait avoir lieu à l'instant ou dans quelques heures, ou dans quelques jours, mais il était bon de ne pas approcher la paroi pour quelque motif que ce soit.

» Le point où nous étions placés pour faire nos observations a été entièrement couvert par la masse écroulée. Nous avions nettement le sentiment, M. Chessex et moi, que nous nous exposions témérairement à nous faire engloutir. Aussi nous ne restâmes pas plus d'une heure en face de la paroi

menaçante; du reste, tout était inutile: il n'y avait qu'à attendre.

» Le soir de l'après-midi, j'apprenais que l'éroulement était accompli. Comme dans des éroulements de ce genre, le phénomène se poursuit parfois plusieurs jours, je me rendis sur place le 16 dans l'espoir de voir chuter un nouveau pan de la carrière. Rien. Je retournai le 18, accompagné par M. le Dr N. Oulianoff, pour faire quelques photographies et toujours dans l'espérance de voir une nouvelle chute. Notre persistance fut récompensée. Vers les 10 heures du matin, une masse considérable, mais très petite par rapport à celle du 14, s'éroulait. Ce fut splendide que de voir s'étendre peu à peu un nuage de poussière d'abord nettement limité comme l'aurait été un cumulus descendant la paroi, puis les contours devenaient vagues et peu à peu l'atmosphère fut remplie par une fine poussière qui nous atteignit en obscurcissant le soleil, alors que nous étions à plusieurs centaines de mètres de l'éroulement, sur une des hautes rides décrites par M. Choffat¹. »

Un ouvrier des carrières racontait que toute la nuit du 13 au 14 et une partie de la matinée du 14, ils avaient été occupés au sauvetage du matériel principal et des pierres déjà taillées. Vers 17 heures, alors qu'ils avaient été ramenés depuis le matin à l'arrière, les ouvriers virent descendre avec un grondement sourd une énorme masse de roche, sans savoir exactement comment, parce que le phénomène s'était immédiatement enveloppé d'un nuage de poussière qui s'étendit, traîna sur la plaine jusque dans la ville de Villeneuve située à 1,5 kilomètre de là. Au même instant, le sol de la plaine en avant des carrières se soulevait « comme une soupe au lait » et quelques témoins ressentirent, outre le soulèvement et le déplacement d'air violent, des vibrations spasmodiques du sol.

§ 4. Etat des lieux après l'accident.

Une fois le nuage de poussière abattu, on put juger de l'étendue du désastre. Dans le flanc de la montagne s'ouvrait une nouvelle paroi, une énorme plaie de pierre fraîche, et un relief complètement nouveau occupait les chantiers et les prés avoisinants.

¹ Note communiquée par M. Lugeon en juillet 1925.

La paroi encore vibrante s'élève en un « à pic » de 150 mètres; son pied est enterré sous un énorme talus de blocs bouleversés. Tout au fond, à l'endroit où se trouvait un instant avant la voie ferrée, s'ouvre une large dépression que domine vers l'Ouest un rempart d'éboulis profilant dans le ciel de sauvages créneaux. Une nappe de blocs, creusée de trous béants, étend son chaos 100 mètres en avant. Du plus haut bloc du rempart, on ne voit qu'une mer de roche brisée, accumulée, encastrée pêle-mêle, d'où s'élève une immense impression de ruine. Vers la plaine surgissent de longs bourrelets qu'entaillent de nombreuses crevasses; béant dans la terre bleue. La route, bandée comme un arc, est rompue en tronçons: le canal, écrasé, a joint ses deux lèvres. Et jusqu'aux endroits où le déferlement de roche la recouvre, la voie ferrée gît, morcelée, tordue.

La situation est en résumé la suivante (Pl. II Fig. 3): une paroi s'élevant au-dessus d'un versant d'éboulis; répandue sur la plaine, une nappe d'éboulis creusée vers la montagne d'une dépression transversale et s'élevant vers la plaine en un *vallum* arqué; à une série de *plis* arqués (que j'appelle « gonfles ») s'atténuant jusqu'à un *avant-pays* où quelques poteaux de téléphone sont inclinés.

§ 5. Etude détaillée.

PAROI (Pl. I et III). — Le bas et le haut de l'ancienne paroi sont indiqués par les lignes ponctuées AB et CD. La niche d'arrachement, en partie ensevelie sous les éboulis du versant, est circonscrite par le pourtour pointillé EEE.

La paroi abrupte présente, à part quelques surplombs vers le haut, une face généralement lisse qui est recouverte, aussi bien qu'on peut l'observer, d'un revêtement tuffeux, qui indique suffisamment qu'il existait là une vieille diaclase, dont la trace supérieure correspondait sans contredit à la fissure que les bûcherons avaient vu s'élargir juste avant l'accident.

Au Sud, l'escarpement FFFF, à peu près perpendiculaire à la paroi, et en partie aussi lisse, est en relation avec un système de diaclases.

Au Nord, un contrefort G, où se voit le banc marneux noir HH, a son versant SW tangent à une surface de diaclase III dont on suit la trace dans la paroi actuelle. Cette

diacalse III et une digitation importante JJJ forment un angle très obtus avec la paroi.

Une autre trace de diacalse KKK court à peu près horizontalement et semble être l'émergence d'une diacalse très redressée montant derrière la paroi.

Dans l'escarpement ancien passaient encore quelques diaclasses MM et M'M' plus ou moins bâillantes, et disjointes par les explosions et secousses de l'exploitation antérieure.

Ces diaclasses isolaient pour ainsi dire complètement, on ne sait pas depuis combien d'années, une tranche de rocher dont la base était de marne noire et de pierre grise beaucoup moins résistantes que la brèche calcaire (dite « marbre rose »).

La chute implique que cette base céda, et vraisemblablement peu à peu, n'offrant plus à la tranche rocheuse qu'un appui de plus en plus précaire. Le poids de cette tranche, combiné à l'effet des eaux d'infiltration et peut-être du gel, occasionna d'année en année la rupture des derniers encastresments, et lorsque ce travail fut assez avancé, les premiers déplacements appréciables donnèrent une fatigue critique aux deux zones d'appui latéral évasées F et G, que M. Lugeon appelle « lignes d'éclatement », qui ne résistèrent plus que quelques heures après l'apparition des premières manifestations de surcharge.

VERSANT D'ÉBOULIS (Pl. I, III et IV Fig. 1 gauche et Fig. 2).

Dans la partie haute apparaît en NN un talus raide d'un matériau tassé et terreux, à gros blocs, d'un caractère morainique, et au-dessous on remarque que les éboulis déposés sont plus gros au pied du versant et dans la nappe qu'en haut (certains blocs dépassent 500 m³), mais que dans le tiers Nord du versant, de gros blocs, et même une masse de 8000 m³ (indiquée Pr.) sont restés en dérive sur la pente. Ces constatations indiquent d'une part une différence dans les conditions d'écoulement et d'approvisionnement des éboulis entre l'aile droite et l'aile gauche du flux, et d'autre part, qu'on retrouve ici la loi de répartition des éléments d'éboulis suivant leur grosseur, les plus gros blocs, doués d'une plus grande force vive, pouvant courir plus loin contre les frottements et chocs qui tendent à les arrêter, les plus petits restant immobilisés en arrière. Dans la masse des éboulis, à part les blocs, on a un matériau de colmatage formé de poussière,

terre et petites pierres. La proportion de ce matériau de colmatage par unité de volume varie; nulle ou très faible dans la cape superficielle de tous les éboulis, faible en profondeur de l'aile Sud de la nappe, moyenne en profondeur de l'aile Nord de la nappe, elle croît de plus en plus en profondeur des éboulis du versant et à mesure qu'on remonte vers la paroi, pour aboutir à ce matériau terreux à caractère morainique que nous avons vu affleurant en haut du versant. Le déversement des éboulis ayant eu lieu presque instantanément, et la charge mobile par mètre courant ayant été plus grande en haut du versant qu'en bas et que dans la nappe, il semble bien que cette proportion de matériau de colmatage est en relation avec l'importance de l'écrasement des éboulis déposés au fond du flux rocheux.

En outre, on voit en haut du versant d'éboulis de petits cônes dus à des chutes secondaires postérieures à la chute principale, en particulier N' qui correspond à peu près à l'écroulement partiel qu'observa M. Lugeon (p. 12).

NAPPE D'ÉBOULIS (Pl. I et IV Fig. 1, 2. 13 et 14).

Sur la figure 1 Pl. IV, une fine ligne noire « a-b-c-c'-d » indique la perspective d'un profil longitudinal à travers la nappe et les plis. On voit en « a » une dépression à fond sensiblement plat que la carte Pl. I n'exprime pas clairement à cause de la complexité des courbes de niveau, mais dans laquelle pour l'expression j'ai figuré deux lacs qui s'y étaient établis peu de temps après l'écroulement (malgré que cette carte soit censée représenter l'état consécutif à l'écroulement). Le versant d'éboulis y atteint sans atténuation de sa pente. Dans sa partie Nord, cette *dépression transversale* a sa cote moyenne de quelque 8 mètres au-dessus de la cote moyenne de la partie Sud.

Par contre, la pente interne « b-c » du *vallum* est beaucoup plus faible à l'aile Nord qu'à l'aile Sud où elle prend la forme d'un talus raide « O-P » (Pl. I) au sommet duquel restait perché un gros bloc O (Pl. IV Fig. 13 et 14), et là, le *vallum* est également plus élevé. En plus de cela, nous avons déjà remarqué que l'aile Sud de la nappe est riche en gros blocs (on pourrait même dire qu'elle n'est composée que de gros blocs); par contre, l'aile Nord est composée, tant en surface qu'en profondeur, de moyens et petits fragments dont un fort

pourcentage est de marne noire. Pour cela, nous distinguerons l'aile Nord sous le nom de « nappe noire » et le centre et l'aile Sud sous le nom de « nappe dominante ».

Tout comme se distinguaient déjà les ailes Nord et Sud du versant d'éboulis et de la dépression transversale, la nappe noire et la nappe dominante accusent extérieurement une importante différence de caractère. La cause en serait, nous l'avons vu, une différence dans l'approvisionnement et l'écoulement des éboulis.

Le front QR de ces nappes porte également des caractères différents. La nappe noire domine le territoire plissé du NW de 4 à 5 mètres, alors qu'à partir du centre du front, la nappe dominante aborde le territoire plissé presque de niveau. (Remarquer le front de la nappe dominante à côté du poteau droit Pl. IV Fig. 11, et le front de la nappe noire vue de face Pl. IV Fig. 12 le personnage donnant l'échelle.)

Mais où cette différence s'accuse encore, c'est dans l'étude volumétrique des masses écroulées dont il convient ici de dire quelques mots.

Ce que nous venons de dire de la paroi et des éboulis intéresse ce que nous appellerons « l'élément rocheux » de l'écroulement par opposition à « l'élément terreux » qui s'appliquera aux terrains déformés de la plaine.

Il est évident qu'à cet élément rocheux, où l'on distinguerait les termes classiques d'un éboulement (niche d'arrachement, zone d'écoulement et zone de dépôt), on peut appliquer dans son ensemble une équation certaine « à la conservation de la masse »,

$$\text{Masse écroulante} = \text{Masse écroulée}$$

Or si la roche d'Arvel a un poids spécifique de 2,7 il faut, pour passer de l'équation des masses à celle des volumes, tenir compte du fait que par unité de poids l'éboulis occupe plus de volume que la roche massive; on dit que l'éboulis a « foisonné » et le coefficient de foisonnement pour le roc à la mine est voisin de 1,65 (chiffre des aide-mémoire). L'équation de conservation des volumes devient donc:

$$1,65 \text{ Volume écroulant} = \text{Volume écroulé.}$$

Connaissant assez exactement l'ancien état de choses (Pl. II Fig. 2) et toutes les surfaces extérieures du nouvel état de chose, il nous resterait à connaître les position et forme de

la niche d'arrachement et la forme du fond de la nappe d'éboulis pour vérifier l'équation, car on est en droit de supposer que le fond des éboulis du versant n'a pas sensiblement changé puisqu'il était auparavant de terrain dur ou très identique au matériau d'éboulis. La nappe d'éboulis, par contre, en abordant le terrain mou et éminemment déformable de la plaine, a dû s'y enliser plus ou moins dans des conditions analogues à celles de l'hydrodynamique, ces limons étant gorgés d'eau.

En effet, considérons la figure 1 Pl. II.

A) Sur un talus incliné, soit M une masse animée de mouvement. Elle a une force vive F qui se décompose en une composante verticale V et une composante horizontale H.

B) Si elle arrive sur un terrain très dur horizontal, V sera annulé instantanément par la résistance infiniment grande du terrain et H s'usera peu à peu contre le frottement de progression jusqu'à arrêt complet de la masse. Théoriquement, l'épaisseur h du dépôt diminuera vers l'avant, le frottement cause de l'arrêt étant fonction de la masse progressante non encore stabilisée.

C) Si la même masse arrive sur un terrain horizontal semi-résistant, V créera une première déformation petite sous forme d'un creux dans lequel viendra s'enfoncer de plus en plus la masse entière qui soulèvera le terrain par une poussée en partie ascendante.

D) Si par contre le terrain est mou, imbibé d'eau et par conséquent glissant, la réaction \mathcal{C} du terrain contre H étant trop faible par mètre courant, le terrain sera refoulé tangentiellement; V créera à chaque instant jusqu'à son annulation un certain creusement qui accentuera de plus en plus l'angle « a » de contre-pente; la stabilisation due au frottement étant également fonction de cet angle, le cheminement sera ralenti de plus en plus vite et on aura une épaisseur de dépôt augmentant vers l'avant. On observera même que le front de la masse remontera la contre-pente.

Ceci est absolument analogue à la tenue d'une balle de fusil (nouvelle munition de l'armée suisse), tombant en biais sur du rocher, sur un sol dur ou sur un sol détrempé, et nous permet de supposer que le fond de la cuvette creusée

par la nappe est une certaine surface courbe qui ne s'enterre pas vers l'avant, mais au contraire s'élève.

Quant à sa profondeur, nous pourrions l'estimer d'après l'équation rocheuse de conservation des masses. Car si nous ignorons exactement la forme du fond de la niche d'arrachement, nous pouvons cependant, d'après divers indices et présomptions, l'estimer d'assez près, ce qui nous donnera le cube écroulé. Par approximations successives, nous pouvons de plus arriver à préciser l'emplacement des filets d'écoulement du flux rocheux exactement comme dans un cours d'eau, filets entre lesquels il n'y a eu théoriquement aucun échange de masse et qui représenteraient le chemin suivi par un mètre cube de paroi déplacé jusqu'au front de la nappe. En résolvant graphiquement l'équation rocheuse à la conservation des volumes dans chaque filet, on y définit la profondeur nécessaire de la cuvette pour que l'excès d'éboulis s'y loge, et par conséquent le fond approximatif de cette cuvette.

Cette étude montre encore une profonde différence entre la partie Sud et la partie Nord de cette cuvette. Si les lignes de flux équidistantes de 50 000 m³ (Pl. I) semblent indiquer que l'axe général de l'élément rocheux 300 000 m³ est légèrement plus au Nord que le centre de l'arc du vallum, les profils construits dans chaque filet montrent que le remplissage en éboulis du versant a été considérable à l'aile Nord, par conséquent qu'il restait peu à déposer dans la cuvette de la nappe noire, dont l'épaisseur serait de 8 à 10 mètres, alors qu'à l'aile Sud le remplissage du versant demande moins d'éboulis et que, pour loger l'excédent, il faut admettre une épaisseur de la nappe dominante pouvant atteindre 24 mètres. La masse de la nappe dominante est plus de deux fois plus grande que la masse de la nappe noire et ceci correspond également à un effort plus considérable de la nappe dominante sur le terrain mou.

On peut apprécier plus exactement ceci en appliquant aux filets d'écoulement des équations « à la conservation de l'énergie » :

Perte de potentiel = Somme des travaux produits.

Dans ces équations, le travail de chute résiduel que la masse de la nappe pouvait fournir contre les résistances du terrain de la plaine est beaucoup plus faible sur le front Nord que sur le front Sud de la cuvette. Ceci est aussi en relation avec

le fait qu'à l'aile Sud les matériaux tombent de plus haut de la paroi qu'à l'aile Nord.

Le centre de gravité de la poussée de la nappe serait à peu près sur le filet 400 000 m³, et cette constatation importante, à laquelle nous voulions arriver, va nous permettre de comprendre beaucoup mieux la tectonique du phénomène terreux que nous allons aborder dans un instant.

Mais auparavant, il resterait à faire quelques observations de détail sur les voies déformées.

VOIES (Pl. I ligne SSS, Pl. IV Fig. 11 et 12).

Les voies jadis en courbe convexe vers la montagne S₁ S₈ S₉ S₁₀ S₇ étaient visibles ou ont été retrouvées au cours du déblaiement sous la forme d'un arc irrégulier S₁ S₂ S₃ S₄ S₅ S₆ S₇ vers la plaine. Aux deux extrémités S₁ S₂ et S₅ S₇ elles sont restées plus ou moins jointes, mais déformées en zig-zag. Les points S₁ et S₇ indiquent remarquablement les limites Nord et Sud de l'attaque de la poussée de la nappe, et les points S₂ et S₅ les limites de recouvrement de la nappe.

En développant le tronçon S₁ S₂ sur S₁ S₈, on trouve un point S₂' qui indique la direction et la valeur du déplacement de ce point: il reste parallèle à la ligne de flux voisine et indique, sur le bord même de la nappe, un cheminement sensible du sol vers l'avant, presque à la limite de la poussée, ce qui paraît curieux. A l'Est de S₂' le petit lac Nord occupa, quelques jours après l'écroulement, une dépression non remblayée à pentes raides; puisqu'aucun éboulis n'a passé là pour y former une cuvette, cette dépression a été créée par un appel du territoire voisin chassé en avant par la nappe, soit par cohésion latérale, soit par une sorte de suction.

A l'autre aile, entre S₅ et S₇, les voies ont été rompues deux fois par de petits décrochements (Pl. IV Fig. 11) et là la nappe n'a pas été charriée sur la plaine.

Entre S₂ et S₅, la nappe a été, par contre, charriée par-dessus la voie, plus ou moins loin, moins fortement à l'aile Nord entre S₂ et S₃ où on la retrouvait avec beaucoup d'éléments assemblés quoique basculés en avant ou en arrière et à demi-ensevelis (Pl. IV Fig. 12), mais plus fortement à l'aile Sud où elle est complètement disloquée, les éléments s'égrenant entre et sous les blocs.

QUELQUES CHIFFRES.

Il convient d'indiquer quelques chiffres propres à l'élément rocheux que, suivant la méthode des filets d'écoulement, le calcul graphique nous a donnés.

La masse écroulante est de 614 000 m³ pesant 1 632 000 tonnes se répartissant avec foisonnement de 1,65 environ en :

Poids des éboulis du versant	1 095 000 t. soit 67 ‰
Poids des éboulis de la nappe	537 000 t. soit 33 ‰
	<hr/> 100 ‰

cette dernière se décomposant en

Nappe dominante	380 000 t. = 71 ‰	soit 23,5 ‰
Nappe noire	157 000 t. = 29 ‰	soit 9,5 ‰
	<hr/> 537 000 t. 100 ‰	<hr/> soit 33,0 ‰

Épaisseur variable des éboulis du versant :

Dans la niche d'arrachement	33 à 13 mètres.
Au milieu du versant	37 à 15 mètres.
Au bas du versant	13 à 5 mètres.

Épaisseur moyenne de la nappe noire 6 à 12 m.

Épaisseur moyenne de la nappe dominante 11 à 24 m.

Perte de potentiel total = Travail total disponible, 154 millions de mètres-tonnes se répartissant approximativement en ¹ :

¹ En tombant sur un gradin inférieur, une masse compacte de rocher subit sous la forme de choc la réaction du gradin, ce qui y fait apparaître des tensions capables de fracturer la masse et d'en amener le morcellement. Dans un cas limite, ce morcellement pourrait annuler toute la force vive de la masse écroulante et la laisser stabilisée sur le lieu de chute ; dans le cas plus habituel une partie seule de cette force vive se transforme en travail de morcellement. Le travail de morcellement, en relation avec l'état de cohésion de la masse compacte, la somme des surfaces de fraction et le coefficient de résistance à la compression du matériau, est inexprimable dans notre cas par ces éléments de calcul, mais on peut l'approximer en considérant qu'à l'aile Nord de la niche d'arrachement une chute de 10 m. a en tout cas suffi pour morceler complètement la masse écroulante. Admettant cette chute de 10 m. suffisante et maximum pour un morcellement total le travail de morcellement vaut 10 fois le poids écroulé, soit environ 16 000 000 mt. au maximum.

En s'écroulant le flux d'éboulis frotte sur le fond et subit un frottement interne. La somme des frottements de roulement-glissement élémentaires correspondant à un élément de superficie du flux, exprimée par un coefficient de frottement moyen double, de 0,7, inspiré des chiffres donnés par la pratique technique, et la masse de passage sur l'élément, donne la valeur du travail des frottements. Dans le cas des éboulis du versant, le frottement sur le fond se retrouve en majeure partie par la réaction, dans le flux rocheux en mouvement. Dans le cas de la nappe d'éboulis, une partie de la réaction du frottement du fond, le frottement interne du flux et l'élévation de la nappe,

Travail de morcellement en éboulis	16 000 000 mt = 10,5 %
Travail d'arrêt des éboulis du versant	101 500 000 mt = 65,7 %
Travail d'arrêt de la nappe	36 500 000 mt = 23,8 %
	<u>154 000 000 mt 100,0 %</u>

De ce travail d'arrêt de la nappe, 15 300 000 mt, soit 42 %, sont employés aux résistances internes et 21 200 000 mt, soit 58 %, aux résistances externes, c'est-à-dire à la déformation du terrain mou, ce qui représente une somme de travail dépensée dans l'élément terreux de 13,8 % du travail total de l'écroutement, fourni à raison d'environ 4,5 % par la nappe noire et 9,3 % par la nappe dominante.

COMPRESSIBILITÉ DU TERRAIN MOU.

Nous avons vu, page 14, qu'un terrain mou, imbibé d'eau, réagissait à la pénétration oblique d'une masse douée de mouvement dans des conditions plus voisines de l'hydrodynamique que ne le ferait un terrain dur. En citant l'exemple de la balle de fusil, nous aurions pu citer aussi l'exemple du galet que l'enfant fait ricocher dans l'eau et qui ricocherait de même sur une mare de boue ou un terrain très mou. Notre nappe n'a pas ricoché, parce qu'avant d'avoir pu le faire, elle avait été stabilisée par son frottement sur le fond de sa cuvette et par le rempart de terre qu'elle élevait de plus en plus en avant d'elle. Nous avons vu que la composante verticale V de la force vive a servi à créer la déformation verticale de la cuvette. La composante H s'est usée en frottements et en résistances diverses et a appliqué aux masses de terre refoulées une pression sensiblement horizontale, peut-être légèrement ascendante ou descendante, mais sans excès. Cette pression, à son tour, peut être réduite à ses deux composantes horizontale et verticale; la verticale, assez petite, sera forcément absorbée d'une façon ou d'une autre par la réaction d'un sous-sol situé à une profondeur inconnue et qui n'a pas bougé. La composante horizontale a amené la migration du

représentent le travail interne de la nappe; l'autre partie de la réaction du frottement sur le fond se propage avec le déplacement des terres et se retrouve en travaux divers [creusement de la cuvette, frottements (interne et sur le fond) des terres en progression, élévation des gonfles, travail effectif ou latent de compression etc.], et exprimerait l'équation «à la conservation du travail» de l'élément terreux

Travail externe de la nappe = Travaux terreux.

terrain mou qui chercha à conserver sa masse en fuyant là où il pouvait, c'est-à-dire en avant et vers le haut. D'où la création de ces plissements typiques que j'appellerai, comme M. le Dr A. Jeannet¹, du terme local vaudois expressif de « gonfles ».

Pour commencer, cherchons ce qu'il en est de la compressibilité propre de ces terrains. Il est évident, en effet, que si le terrain mou était très fortement compressible, c'est-à-dire si sous la pression il pouvait diminuer très sensiblement de volume, il n'aurait pas fui vers le haut et les gonfles ne se seraient pas formées. Dans l'ancienne surface topographique de la plaine que nous avons vu composée d'un plan dominé par un plateau de déblai, la nappe a creusé une cuvette que nous estimons, d'après les recherches de conservation de masse de l'élément rocheux, à environ 200 000 m³. Ces 200 000 m³ occupés jadis par du terrain mou doivent se retrouver quelque part, soit intégralement si le terrain est absolument incompressible, soit en partie si le terrain est plus ou moins compressible. Or le volume saillant des gonfles, le volume créé, déterminé avec tout le soin que permet la carte, est d'environ 222 000 m³, soit, contre toute attente, supérieur au volume de la cuvette. Cherchons la raison de cet excès de 22 000 m³ du volume des gonfles.

A cet effet, et pour ne pas laisser subsister le doute que la détermination du volume de la cuvette est entachée d'une erreur grave, je donnerai ici les résultats de nivellements comparatifs faits de suite après le soulèvement des gonfles en juin 1922 sur un des trois alignements de piquets observés. puis renouvelés en 1923, 1924 et 1927 sur les piquets restants.

Dès le premier mois, les gonfles se tassent et jusqu'en mai 1923 le tassement continue, sur tous les piquets, aussi bien sur ceux plantés dans le terrain mou des gonfles que sur ceux qui sont sur le plateau de déblai et sur les repères marqués sur quelques blocs de la nappe. A partir de mai 1923, il y a tassements ou exhaussements faibles; le terrain cherche encore lentement un meilleur équilibre. Le tableau Fig. 5 Pl. II donne pour diverses périodes les chiffres relatifs à di-

¹ A. JEANNET. — Les glissements de terrain de Bougy-Villars. — *Journal de Morges*, 4 février 1910.

vers piquets indiqués en position sur la carte Pl. I. Il nous suffit ici de savoir que le tassement observé moyen entre les deux premiers nivellements, rapporté à l'ancien niveau hydrostatique probable 376,00, est de 10 % pour l'ensemble des piquets des gonfles; si ce chiffre paraît exagéré et que nous ne prenions comme valeur que les deux tiers pour l'ensemble des gonfles, on est pourtant obligé d'admettre que le tassement enregistré à partir de juin 1922 avait commencé dès mars, et en extrapolant jusqu'à la date du soulèvement on revient facilement à un tassement minimum moyen de 10 %. Le pourcentage intervient du reste peu; ce qu'il importe de savoir, c'est que ce tassement implique un foisonnement préalable du terrain sous l'effet de la compression, c'est-à-dire qu'au lieu d'avoir eu contraction de volume dans les gonfles, il y a eu relâchement de la structure des terres. En recherchant le volume perdu par les gonfles pendant la première année de tassement, on obtient le chiffre de 17 000 m³. Si l'on remarque de plus que le tassement n'a pas pu être enregistré dès le début, quoique le nivellement d'une polygonale de levé faite en avril 1922 sur les gonfles ait indiqué quelques tassements locaux dont un de plus de 100 cm., on voit que le volume perdu par tassement est très voisin des 22 000 m³ de différence trouvés entre le volume de la cuvette de la nappe et le volume apparent des gonfles.

Ce phénomène certain de foisonnement causé par la compression est à vrai dire analogue à celui de la charrue qui morcelle la terre; les grains de limon qui avaient acquis lors du dépôt en eau calme et sous surcharge d'eau une certaine concentration ont dû, lors du refoulement, être imbriqués les uns dans les autres et les minimes déplacements intimes qu'ils ont subi, en les écartant légèrement les uns des autres, ont créé le foisonnement. A la suite de l'action lente de leur poids et des eaux de pluies, ces grains, en se recondensant, ont produit le tassement général enregistré.

Dans l'avant-pays, à l'Ouest de la route, là où le relief des gonfles vient à mourir, mais là aussi où la pression arriva très atténuée, le niveau moyen est monté de quelques décimètres, sans que cela apparut, et le volume saillant correspond lui aussi presque exactement au volume déplacé entre l'arc actuel de la route et son ancien emplacement rectiligne.

La conclusion de ceci est que le terrain s'est comporté comme un terrain incompressible, et rien ne paraît absurde à cela puisque nous avons affaire à un terrain éminemment imbibé d'eau; cette eau occupait à l'état latent tous les pores laissés entre les grains de limons. Incompressible mais déformable, ce terrain aurait des qualités voisines de celles de l'eau et là encore nous pourrions tirer de cette analogie un indice sur la forme du fond du volume déplacé (que j'appelle sur les profils Pl. II « surface de décollement »), la forme de cette surface de profondeur qui n'a pas bougé. Elle doit, comme le fond de la cuvette de la nappe, ne pas s'enterrer vers l'avant, mais au contraire s'élever.

Du point de vue mécanique, les recherches indiquent que le gros travail de déformation de l'élément terreux est le travail de frottement, et on sait que le travail de frottement est fonction de la charge qui progresse sur la surface de frottement, ou si on veut aussi de l'épaisseur de la surcharge. En posant l'équation « à la conservation de l'énergie » à l'élément terreux :

Travail extérieur de la nappe = Somme des travaux de déformation et de frottement dans l'élément terreux,

on aura une limite à la profondeur de la surface de décollement, en fonction du coefficient de frottement.

On a vu (p. 18) que le travail extérieur de la nappe était de 21 200 000 mt. Des travaux de déformation, on peut calculer :

le travail d'élévation des gonfles	673 000 mt
le travail de compression de l'avant-pays	1 640 000 mt
(environ son travail d'élévation)	<u>2 313 000 mt</u>
ces 2 313 000 mt soustraits de 21 200 000 mt donnant un travail de frottement d'environ 19 000 000 mt.	

L'équation du travail total de frottement de l'élément terreux serait donc :

$$19\,000\,000\text{ mt} = F'' \times \text{Volumes des déplacements}^1$$

¹ Pour chaque élément de masse déplacé vers l'avant d'une longueur d , et puisque les gonfles ont sailli, d'une hauteur h , surchargé de P tonnes proportionnel à l'épaisseur inconnue, on aura un travail de frottement élémentaire de

$$P \times (d+h) \times F''$$

où F'' est le coefficient de frottement terre humide/terre humide. Or P est

Le choix rationnel de F'' , coefficient de frottement, se ferait, ou bien en expérimentant au frottement des échantillons du terrain d'Arvel, ou bien en recherchant dans la bibliographie du sujet l'angle moyen du talus naturel d'éboulement de limons imbibés identiques. Mes premiers calculs indiquent une épaisseur moyenne de l'élément terreux au-dessus de la surface de décollement ne dépassant pas les 10 mètres.

Nous précisons donc, par ce qui précède, que le phénomène de plissement ne peut être profond; il n'a pas de racine. Nous avons vu en outre que la poussée exercée par la nappe était tangentielle et ne plongeait pas. Nous sommes donc dans des conditions assez semblables à celles des expériences qu'Alphonse Favre faisait en comprimant ses bandes d'argile, notre tranche de 10 mètres d'épaisseur et de quelque 400 mètres de long et de large étant même comparativement plus mince que les siennes. Mais à Arvel, l'application de la poussée a été brutale alors qu'Alphonse Favre la faisait agir lentement, et l'inertie jouera à Arvel un rôle freineur à la propagation de la poussée: les plis d'Arvel s'amortiront rapidement vers l'avant (sinusoïde amortie).

TECTONIQUE DE L'ÉLÉMENT TERREUX.

Route, canal et hangars.

Dans la description rapide du début, nous avons vu qu'en avant des gonfles principales passait une route primitivement droite Y_1 - Y_5 (Pl. I) longée du côté Est par un canal d'assainissement Z_1 - Z_4 . Après le plissement, la route formait un arc $Y_1 Y_2 Y_3 Y_4 Y_5$ où l'on voyait de Y_1 en Y_2 des bourrelets transversaux (Pl. IV Fig. 10) de ballast de 15 à 20 cm. de haut, indiquant nettement que ce tronçon a subi une compression. Par contre, au Sud de Y_3 des crevasses larges et profondes indiquaient une extension (Pl. IV Fig. 8 et 9).

Jusqu'à plus de 120 mètres au Nord de Y_1 , une canalisation d'eau qui longeait la route à l'Ouest et aboutissait au hangar « Saxon » V, était télescopée, tordue en boucle ou rompue en ciseaux. Elle a subi également une compression. Le

donné en chaque lieu, à une certaine échelle fonction du poids spécifique, par l'épaisseur inconnue qu'on approcherait par essais successifs; $(d+h)$ est un multiplicateur variable qui composé à P donnerait une hauteur élémentaire d'un volume fictif dit « volume des déplacements ».

déplacement que le redéveloppement de cette canalisation indiquait, composé au déplacement vers l'Ouest de la route en face de W, donne la direction et la longueur du déplacement total; il est oblique sur les faces du hangar. Il a donné à la fosse à purin W, en dalles de Sembrancher, une déformation diagonale en coussin. Le hangar a subi la même déformation qui, répercutée dans les feuilles d'éternit de sa couverture, les a fait sauter diagonalement.

On a vu que le déplacement des voies de S_2' à S_2 , à l'aile Nord de la nappe, était environ WNW et on verrait que le déplacement des constructions voisines est de même direction. De ces constructions au hangar « Saxon » où le déplacement est NW, le déplacement change donc de direction, sans varier beaucoup de longueur, ce qui implique dans cette zone une rotation d'ensemble autour d'un centre situé au Nord des constructions.

De Z_2 à Z_4 , le canal est écrasé. Complètement refermé de Z_2 à Z_3 , il en restait un indice plus au Sud. Le déplacement des hangars T et U, important vers l'Ouest directement, et les déplacements locaux mesurables de la route, montrent que cette zone Z_2 - Y_2 a subi une translation vers l'Ouest et une petite rotation autour d'un point situé assez loin au Nord.

Par contre, à partir de Y_3 vers le Sud, la route est déplacée vers l'W, WSW et SW, indiquant une rotation autour d'un point variable situé au Sud.

La figure 4 Pl. II est une représentation nouvelle de l'ensemble des déplacements. On y voit deux faisceaux de lignes; le faisceau ponctué représente la direction des déplacements, c'est une sorte de faisceau de lignes d'écoulement; le faisceau continu, qui ressemble à une surface topographique, mais qu'il ne faut pas confondre avec elle, représente en chaque point en mètres la valeur de ce déplacement¹.

Décrochements principaux.

Repérée par quelques crevasses béantes et des étirements nombreux, il passe à travers les gonfles, d'un point 28 situé

¹ On a employé comme bases de cette figure les déplacements reconstituables de la route, d'un chemin, des voies et des constructions. Ces déplacements ne se rapportent qu'aux points de la surface de l'élément terreux. Il faut y remarquer surtout l'expression en escalier des décrochements et le recouvrement des courbes dans les chevauchements.

au bord de la route, par 18-6-7 et 36 au SE, une ligne de décrochement ou de rupture de l'axe des plis.

Un autre décrochement moins apparent, mais cependant marqué par un boudin laminé de terre fraîche, passe d'un point 29 près de la route par 32-2-33-34 en direction ESE-WNW.

Ces deux décrochements limitent, en avant du plateau de déblai 34-33-2-3-4-42-6-40-39, le triangle d'une gonfle large et régulière 2-3-4-5-6 et de deux plus petites 27 et 26. Le tronçon de route compris dans ce triangle a avancé, avons-nous vu, à peu près sans rotation, vers l'Ouest, alors qu'au Nord et au SW le terrain tournait comme s'ouvre une porte à deux vantaux.

Derrière ces gonfles, le plateau de déblai est resté presque intégralement massif, non plissé, à peine rompu, quoiqu'il ait été déplacé de plus de 60 mètres. (Profils IV et V Pl. II). Il a légèrement basculé dans son ensemble, élevant son front W et baissant son arrière SE; comme il s'est tassé également au cours de la première année, il repose sur du terrain foisonné. Il a subi, outre une translation vers l'Ouest, une rotation autour d'un centre situé au NNE; les décrochements secondaires 4 et autres, dans les gonfles, et les décrochements 41-42 et 39-40 de sa partie basse SW, le montrent.

La tectonique de ce triangle, cœur de la tectonique générale des gonfles, s'explique simplement par l'avancement avec rotation du plateau de déblai formant radeau, attaqué postérieurement par la pression de la nappe (plus grande au SW qu'au NE d'après ce que nous avons vu de la différence de répartition), des éboulis et des efforts, et enfonçant son coin dans les prés.

Cherchant à tourner vers le NW sous l'action de la pression décentrée de la nappe, il a rencontré la réaction de toute une région Nord; alors que cette région Nord tournait autour d'un centre proche, tout en se détendant, se crevassant transversalement et se plissant d'une grosse gonfle régulière 1-2 et d'autres 32-32' et 34'-35, le triangle du plateau de déblai était rejeté vers l'Ouest en fuyant le long du décrochement sous compression 29-32-2-33-34. Le rejet de ce décrochement, nul sur la route, devient graduellement plus fort vers l'Est et atteindrait en 34 enseveli sous la nappe une douzaine de mètres. Les boudins striés de terre fraîche apparus sur sa trace se retrouvaient dans d'autres décrochements

secondaires sous compression; la striation qui était verticale n'implique nul mouvement vertical des deux mâchoires, mais seulement le mouvement ascendant des écailles expulsées sous forme de bourrelet.

Le contact du front du plateau de déblai et de la gonfle 2-3-4-5-6 se fait par redressement ou pli-faille inverse du jambage SE de la gonfle (Profils V et IV Pl. II), pour ce qu'on peut en observer directement. Mais deux considérations nous montrent que ce contact marque un refoulement violent. Avant le plissement, le point 106 sur le plateau et le point 109 dans les prés avaient des cotes respectives de 383 et 377 indiquant une différence de niveau de 6 mètres; après plissement, leur cote était de 382,7 et 384, donnant une différence inverse de 1,3 m.; le déplacement vertical relatif de 109 par rapport à 106 est donc de 7,3 m. D'autre part, deux points 43, sur le plateau, et Z₂, au droit du canal, se déplaçaient respectivement vers l'avant de 60 et 32 mètres, soit relativement de $60 - 32 = 28$ mètres; leur écartement actuel étant 60 mètres, la compression de la cape d'humus et d'herbe serait $\frac{28}{28 + 60} = 32\%$, compression qui aurait dû bouleverser cette cape, ce qui est moins le cas ici qu'ailleurs. Selon moi, le soulèvement de 7 mètres de la nappe est produit, non seulement par une contraction du terrain entre le plateau et la route, mais par une poussée ascendante venant d'une masse en forme de coin poussée par le plateau sous la gonfle, masse dans laquelle doit se trouver une partie du jambage SE de la gonfle.

A partir du décrochement principal 28-6-7-36, que les crevasses montrent bien être sous extension, les gonfles ont d'autres caractères. (Profils VI et VII Pl. II.)

Du point 12, à partir du décrochement 7-36 sur lequel se superpose une avance considérable de la nappe qui bouleverse et recouvre la voie, une large et haute première gonfle court vers le Sud en supportant la voie (Pl. IV Fig. 11 sous les poteaux); son jambage Est plonge sous la nappe qui semble reposer, sans fort charriage, sur une autre gonfle ensevelie en P.

Accolée à la gonfle 12, une gonfle 11, fortement déversée en avant et rompue sur sa charnière (Pl. IV Fig. 7), est charriée de 0 à 6 m. sur le bas de son jambage Ouest très

peu incliné vers l'avant (Pl. IV Fig. 3 droite et Fig. 4 et 6 gauche).

En avant d'elle, on rencontre une longue gonfle 10-9-8-7-6 (Pl. IV Fig. 5, Fig. 3 gauche et Fig. 4 et 6 droite), qui naît, très étroite, d'un nœud de confluence 10, et s'élève et s'élargit vers le Nord jusqu'à rejoindre la gonfle 6-42... qui en est la suite normale. Cette gonfle, avec la gonfle 13-14-15' accolée à son jambage Ouest, est traversée de plusieurs crevasses, généralement faiblement décrochées, et entre 7 et 6 est ouverte d'une façon complexe sur sa charnière. Dans ce tronçon, elle a subi un violent étirement à cheval sur le décrochement sous extension principal 6-7-36. Le tronçon 7-8 13-14 est accidentellement déprimé, le levé de la carte y ayant été fait après un tassement prématuré de plus d'un mètre.

Plus en avant, on a une ligne de gonfle secondaire 16-17-18.

Plus loin, vers le SW, surgissent une ample gonfle 19-20-21 et une autre 22-23 très avancées par rapport aux précédentes. La surface topographique des déplacements (Pl. II Fig. 4) montre dans l'avant-pays, à plus de 200 mètres à l'Ouest de la route, l'apparition en LF d'un accroissement imprévu de déformation, sorte de prédisposition à la formation d'une gonfle. De l'écartement exagéré selon moi du dernier groupe de gonfles et de la présence de cet embryon de gonfle LF, je conclus à la manifestation superficielle de la présence de sorte de lames de fond, et ceci base en partie mon hypothèse de la forme en vasque de la surface de décollement (p. 14) inspirée des conditions hydrodynamiques.

EXPOSÉ SUCCINCT DE L'INTERPRÉTATION DE L'ÉCROULEMENT.

Un pan rocheux de 600 000 m³, tranché depuis quelques années de la masse de la montagne par un groupe de diaclases évasées vers la plaine, s'est écroulé sur les chantiers en gradins, se morcelant en éboulis et formant un talus d'éboulis régulier dont le front a attaqué le sol très mou et imbibé de la plaine, en s'y déversant sous forme d'une nappe, qui s'est stabilisée en formant un vallum arqué. De la cuvette formée par cette nappe, les terres ont flué vers l'avant, la pression de celles-ci et de la nappe provoquant sur le front la formation d'une série de « gonfles » arquées, très crevassees. Les déplacements et plis n'intéressent qu'une tranche peu

épaisse de terrain. Dans cette tranche, mobile sur une surface de décollement en profondeur, un plateau de déblai formant radeau rigide a avancé, écartant de part et d'autre les deux ailes des gonfles. Le pourtour de déformation nulle s'étend à 250 mètres en avant de la route, enfermant une superficie de 18 ha.

§ 6. Phénomènes accessoires.

VIBRATIONS SPASMODIQUES. — Deux témoins de sang-froid qui se trouvaient près du hangar « Saxon » lors du plissement des gonfles, ont assuré avoir ressenti, à l'instant du plissement, quelques vibrations spasmodiques en plus du déplacement d'air. Ce fait correspond bien à l'hypothèse d'un glissement général du terrain plissé sur un sous-sol fixe; on les expliquerait comme des alternances d'accélération violente et de ralentissement dans le cheminement vers l'avant de la cape de terrain mou, après chaque victoire de la force vive venant de la montagne contre des accumulations instantanées de quantité de frottement venant de la plaine.

INERTIE. — L'inertie du terrain mou qui selon moi (p. 22) a rapidement freiné la progression des efforts et causé la forte élévation des gonfles est bien montrée par deux faits; les montants d'angle du hangar en bois T reposaient sur des bornes qui se sont trouvées après le plissement, à 50 centimètres en avant des montants; de même, le hangar « Saxon » V, qui reposait sur un cadre en béton, est resté et s'est déversé en arrière du cadre, vers l'Est. Enfin, les divers câbles du téléphérique se sont tous rompus à leur attache inférieure en U, alors qu'une traction lente se serait fait sentir plus fortement aux attaches supérieures, au-dessus de la paroi, puisqu'il y avait là la surcharge du poids du câble.

GLISSEMENT INTIME. — En parlant du travail de glissement des terres de l'élément terreux, on pourrait faire remarquer que de la surface de décollement à la surface extérieure, toutes les couches de terrain n'ont pas progressé de la même quantité; des glissements intimes de couche à couche sont marqués par l'inclinaison de nombreux poteaux (Pl. IV Fig. 3, 4, 6, 9, 11) ne correspondant pas à la perpendiculaire aux plis

sur lesquels ils sont; l'encastrement n'est pas normal mais incliné.

COEFFICIENTS DE FROTTEMENT. — L'étude mécanique complète d'un tel éboulement dépend en premier lieu de la connaissance des coefficients de frottement; les connaissant, on pourrait tirer des équations dynamiques les inconnues géométriques comme la profondeur de la surface de décollement. Pratiquement, il n'y a qu'une manière de les connaître: c'est de rechercher dans le plus possible des éboulements connus quels ont été les angles de pente des talus naturels de dépôt des flux rocheux, ébouleux, terreux ou limoneux; mais il faudra toujours tenir compte que ce coefficient de frottement est fonction de la vitesse, et spécialement dans un flux d'éboulis où beaucoup de blocs roulent et ne subissent plus un frottement de glissement, mais un frottement de glissement-roulement moindre. Les glissements lents d'une certaine envergure de limons surchargés d'eau à l'air libre (Lac Ritom) et les mouvements lents de montagnes (éboulement du Motto d'Arbino ¹) donneraient les coefficients de frottement de glissement.

Ph. CHOFFAT, ingénieur.

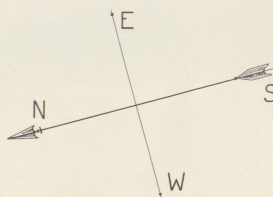
Grand-Lancy, Genève.

¹ Actuellement effectué.

Plan de l'Écroulement d'Arvel (Villeneuve Vaud) du 14 mars 1922

Echelle 1:1000

R.P.N. Alas Siegfried



Équidistance des isohypses de la paroi et des éboulis 1m, courbes maîtresses 5m, de la plaine 0.25m, intermédiaires 0.25m, courbes maîtresses 1m.

Approximation des isohypses de 0.5m dans les "gouffes", de 0.5 à 1m dans la nappe et de 1 à 2m dans le versant et la paroi.

- Légende -

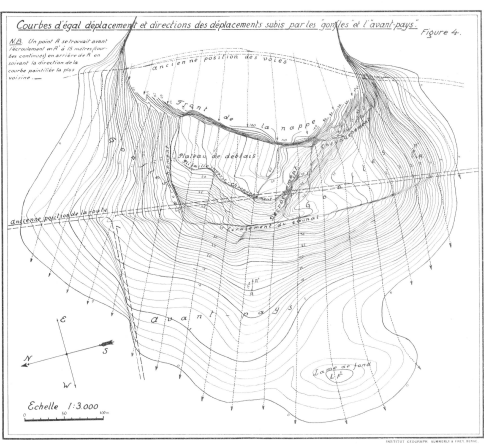
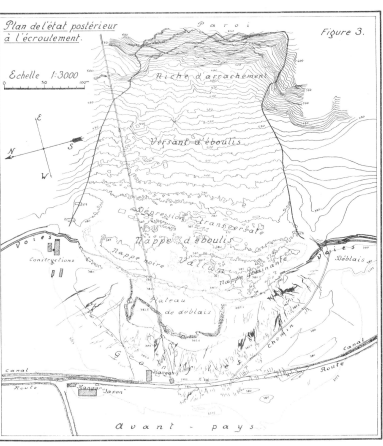
Constructions et voies	état antérieur	trait pointillé
	état postérieur	trait plein
Crevasse		
	Puits bourrés de terrain	

Survey, le 13 octobre 1922
et après

Levé de 1922 à 1927 par Ph. Chiffat ing.

Légende

A-B	-----	Sommet de l'ancienne paroi
C-D	-----	Base de l'ancienne paroi
EEE	-----	Pourtour de la niche d'arrachement
---	---	Pourtour des éboulis
FFF	-----	Escarpement - appui latéral Sud
G	-----	Contrefort - appui latéral Nord
HH	-----	Trace du banc marneux dans la paroi actuelle
IJKL	-----	Stratiles actuellement visibles (Plan III)
MN	-----	Stratiles anciennement visibles seulement
NN	-----	Éboulis morainique
N	-----	Cône d'éboulis secondaire
P	-----	Grasse masse de roche enclavée dans l'éboulis
O	-----	Rive dominant de la nappe (lignes des profils de comparaison comparés à I, II, III)
Q-P	-----	Calas interne de la nappe d'éboulis
Q-R	-----	Front de la nappe d'éboulis
SS	-----	État ancien des voies
SS	-----	État actuel des voies (au 15 mars 1922)
T	-----	Hangar à bois
U	-----	Hangar du moteur du téléphérique
V	-----	Hangar-écurie des Cultures Suisses
W	-----	Seau à paroi
X	-----	Poulvailler
YYY	-----	Route avant et après
ZZZ	-----	Canal avant et après
La chiffraison grasse sert au repérage du trait, voir celui-ci.		
---	---	Lignes des roches aquiductes de Sucozet
---	---	Axes des "gouffes" (pili)
---	---	Lignes de décrochement
①	①	I & II Profils comparatifs de nivellement (fig. 2)
②	②	III & IV Profils (en long) (fig. 2)
---	---	Mares accidentelles, nappes





Paroi de l'Ecoulement d'Arvel, près de Villeneuve, Mars 1922

Photo F. De Jongh 1924



Fig. 1.

N.B. Un an après l'écroulement la nappe d'éboulis est en partie réexploitée.



Photo. Duffour, Montreux, 1922.

Fig. 2. Vue latérale de l'écroulement; vue vers le NE.



Photo. M. Lugeon & F. De Jongh, 1922.

Fig. 3. Arc de la gouffe 8-9-10 et gouffe déversée 11; vue vers le NW.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 4. Noeud de confluence des gouffes 11 et 8-9-10; vue vers le Sud.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 5. Gouffes 7-8-9 avec crevasses transversales.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 6. Gouffe déversée 11 à gauche et gouffe 8-9-10 à droite; vue vers le Sud.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 7. Sol crevassé sur une gouffe.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 8. Moitié Sud de la route crevassée et canal éternel.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 9. Pré et route crevassée; moitié Sud.



Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 10. Moitié Nord de la route avec bourrelets de compression.

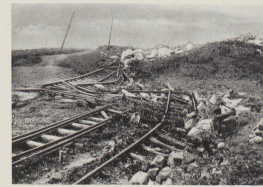


Photo. M. Lugeon, 1922.

Fig. 11. Zig-zag des voies au Sud de la nappe.



Photo. E. Buis, 1923.

Fig. 12. Vestiges de voies redressées dans la « nappe noire ».



Photo. M. Lugeon, 1923.

Fig. 13. Dépression transversale; vue vers le Nord.



Photo. Ph. Choffat, 1923.

Fig. 14. La même, après formation du « Lac Sud ».

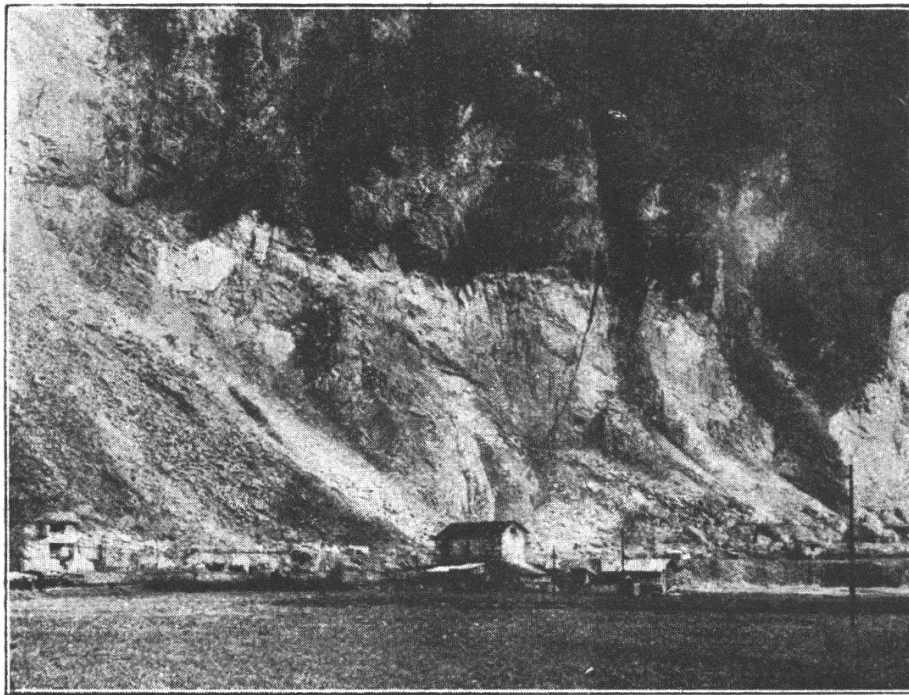


Photo. E. Francioli, Montreux.

Fig. 1. Escarpement vu du NW le 14 mars 1922 avant l'éroulement.



Photo. Ph. Choffat.

Fig. 2. Paroi vue du même point en 1927 après l'éroulement.