Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 62 (1942-1945)
Heft: 263

Artikel: Quelques problèmes de la tectonique d'écoulement en Suisse orientale
Autor: Gagnebin, Elie
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-273263

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: 23.01.2026

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

Quelques problèmes de la tectonique d'écoulement en Suisse orientale [1]

PAR

Elie GAGNEBIN

(Séance du 25 octobre 1944.)

I. — *La tectonique d'écoulement.*

Le terme de tectonique « d'écoulement » a été introduit, en 1938, par les géologues de Grenoble, Maurice Gignoux, Léon Moret et Daniel Schneegans (*15*, p. 275-277 ; *16*, p. 398 sq ; *34*, p. 301 sq). Mais l'idée est fort ancienne. Lorsque Hans Schardt, en 1893, établit pour la première fois que les Préalpes romandes étaient une masse en recouvrement sur la Molasse autochtone plus jeune (*33*), c'est à un immense glissement qu'il attribuait son charriage, un glissement sous l'effet de la pesanteur. L'année précédente, dans un ouvrage publié à Leipzig (*32*), Ed. Reyer avait montré l'importance de l'action de la pesanteur et du glissement dans la formation des chaînes plissées. Un article très intéressant de Giambattista Dal Piaz, professeur à Padoue (*11*), nous rappelle que dix ans avant Reyer, dès 1882, un géologue italien, Luigi Bombicci, envisageait la structure de l'Apennin septentrional comme le résultat du lent glissement d'une grande masse de terrain sur une surface inclinée.

La recherche en paternité, lorsqu'il s'agit de notions scientifiques, est encore plus difficile qu'en justice. L'hypothèse que des phénomènes de glissement peuvent contribuer à la naissance des chaînes de montagnes semble bien remonter plus haut encore, jusqu'à la théorie des « cratères de soulèvement », de Léopold de Buch. La surrection des « massifs centraux » des Alpes, formés de roches cristallines qu'on croyait de nature

[1] Travail présenté à la Société géologique de Zurich, le 15 mai 1944.

éruptive, avait repoussé de part et d'autre les couches sédimentaires, qui s'étaient plissées et bouleversées en glissant.

Mais il faut convenir que la notion de « refoulement latéral », imposée par Edouard Suess en 1875, puis la découverte des grandes nappes de recouvrement des Alpes françaises, valaisannes et autrichiennes, avaient relégué dans l'ombre, presque dans l'oubli, le rôle du glissement par pesanteur. A tel point que Schardt lui-même, dans ses derniers travaux, n'y fait plus appel. Les grandes synthèses d'Emile Argand et de Rudolf Staub, qui ont apporté des vues d'ensemble si magnifiques de l'édifice alpin et de son histoire (*5, 6, 35, 36*), ne parlent que de poussées tangentielles provoquées par la dérive des socles continentaux. Et dans tout le *Guide géologique de la Suisse,* publié en 1934 par une soixantaine d'auteurs (*17*), on ne trouve aucune allusion à des phénomènes de glissement ou d'écoulement par gravité pour rendre compte de la mise en place des nappes alpines.

Sans doute, pendant cette époque, d'autres géologues continuaient à affirmer l'importance de la tectonique de glissement (*10*). Nous en citerons tout à l'heure un exemple remarquable. Mais ils y mêlaient tant de théories inacceptables, contredites par les faits les mieux reconnus, que peu de gens les prenaient au sérieux.

Ce qu'il y a de nouveau dans la vieille notion de tectonique d'écoulement, telle qu'elle a été reprise ces dernières années (*26, 28, 29, 24, 13*), ce n'est donc pas l'idée, l'hypothèse. C'est, d'une part, la méthode de démonstration et de vérification qu'elle a imposée ; et d'autre part ce sont les aperçus qu'elle ouvre sur l'histoire de la chaîne alpine, dont le paroxysme de plissement nous apparaît beaucoup plus compliqué et plus divers qu'il y a dix ans. Autrement dit, l'intérêt de la tectonique d'écoulement est moins dans les explications qu'elle nous procure que dans les problèmes nouveaux qu'elle nous pose.

N'en est-il pas toujours ainsi en science ? Dans les premières années du siècle, Henri Poincaré déclarait : « L'hypothèse, c'est le fonds qui manque le moins. » Il disait aussi : « Une théorie dont on ne peut pas prouver qu'elle est fausse, n'a aucune valeur. » Apparente boutade, mais remarque très profonde. Ce qui fait progresser nos connaissances, ce ne sont pas les solutions vagues qui paraissent satisfaire l'esprit et lui offrent un oreiller de paresse ; ce sont les « hypothèses de travail » qui, par les vérifications qu'elles exigent, excitent la recherche.

C'est pourquoi nous traiterons ici non pas des facilités que la tectonique d'écoulement nous apporte pour comprendre certains traits des Préalpes ou des Alpes calcaires, mais de quelques-uns des innombrables problèmes qu'elle fait surgir, notamment en Suisse orientale.

II. — *La courbure du plan de glissement.*

En 1934, à l'Académie des Sciences de Vienne, Otto Ampferer présentait un mémoire retentissant : « Ueber die Gleitformung der Glarner Alpen » (*1*), qui faisait bondir les tectoniciens suisses. Oberholzer et Albert Heim, les pères de la géologie glaronnaise, lui répondaient aussitôt (*31*) et n'avaient pas de peine à réfuter ses arguments.

Il est d'un vif intérêt de relire aujourd'hui ces deux articles. Sur plusieurs points essentiels, Ampferer voyait juste. Certaines de ses conclusions ont été reprises, il y a peu de temps, par W. Leupold (22). Comme Leupold, Ampferer estime que le « Wildflysch » glaronnais, pincé entre l'autochtone et les masses chevauchantes de Verrucano, a dû glisser lors d'une phase précoce, avant le charriage principal des nappes helvétiques. Ampferer cherche à prouver que ces nappes helvétiques, elles aussi, sont l'effet d'un glissement sur une surface érodée.

Quelles sont les preuves qu'il avance ?

En premier lieu, la forme actuelle du plan de chevauchement, avec sa remontée sur la Molasse. Nous reproduisons ici (fig. 1) la coupe qu'il en dessine, d'après J. Oberholzer (*1* p. 111, fig. 1). Sous cette figure, il écrit : « La coupe

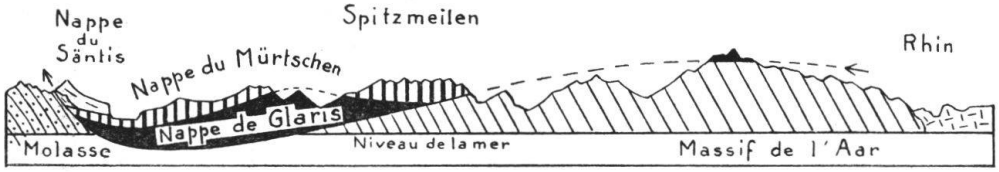

FIG. 1. — Coupe des Alpes glaronnaises, selon le dessin d'O. Ampferer.

doit montrer l'admirable élan de la trajectoire sur laquelle reposent les nappes glissées des Alpes glaronnaises. La courbure de cette trajectoire est si bien préordonnée au glissement, qu'une déformation postérieure est invraisemblable. Nous avons

donc devant nous la courbure originelle de la trajectoire. » [1]

Cette incurvation du plan de chevauchement des Alpes glaronnaises, ajoute-t-il, « nous offre un échantillon-type, un modèle, qui nous permet de reconstituer d'autres surfaces analogues, mais cachées, de trajectoires de glissement. » (*1*, p. 121).

Ce n'est pas là une considération secondaire, énoncée en passant, car Ampferer revient sur la question dans un mémoire récent, présenté à l'Académie des Sciences de Vienne le 22 janvier 1942 (2).

Comment distinguer, écrit-il (2, p. 13), une masse glissée d'une masse poussée ? Dans beaucoup de cas ce n'est pas facile, dans de nombreux cas impossible. Ce n'est que des formes aujourd'hui conservées que nous pouvons tirer des conclusions. Appliquant ce principe aux Alpes glaronnaises, il déclare : (2, p. 17) :

« Les Alpes glaronnaises se distinguent par un plan de glissement largement dégagé et merveilleusement élancé, d'une vaste extension. Il est invraisemblable que cette surface n'ait acquis une forme si rare et si belle qu'après coup. N'importe quelle incurvation postérieure n'aurait pu qu'altérer cette inflexion si bien façonnée. Nous avons donc le droit de tenir cette surface pour un témoin fidèle de l'ancienne trajectoire du glissement. Seule cette interprétation permet d'élucider le mystère de la formation de cette surface. »

La démonstration d'Otto Ampferer consiste donc essentiellement à s'extasier sur l'admirable courbure du plan de chevauchement.

Nous ne ferons que rappeler ici les consciencieuses analyses de stratigraphie comparée grâce auxquelles W. Leupold établit sa conclusion sur le glissement précoce du « Wildflysch » glaronnais (22), les fines analyses tectoniques de Robert Helbling (*20*) qui prouvent le glissement différentiel, étage par étage, des nappes glaronnaises sur les niveaux plastiques de leurs terrains constitutifs. Nous allons voir, par contre, comment on peut s'assurer que justement la preuve décisive du glissement que croyait apporter Ampferer, repose sur une erreur. Car cette démonstration nous conduit à d'autres questions, non résolues.

[1] Voici le texte allemand, dont la traduction exacte n'est pas facile : « Der Querschnitt soll den wunderbaren Schwung der Fahrbahn zeigen, auf welcher die Gleitdecken der Glarner Alpen liegen. Die Krümmung dieser Fahrbahn ist so zweckmässig eingerichtet, dass eine nachträgliche Verbiegung unwahrscheinlich ist. Wir haben also die Urkrümmung der Fahrbahn vor uns ».

Il nous faut pour cela faire un détour par le lac des Quatre cantons.

La forme si curieuse de ce lac témoigne déjà de la complexité des actions dont il résulte. Dans sa grandiose synthèse de la morphologie des Alpes, en 1934, Rudolf Staub (*37*) a dégagé les traits principaux de cette histoire. Quelles que soient les modifications de détail qu'on y apportera, l'œuvre de Staub restera la base des recherches futures. Comment un ancien cours de l'Aar, passant par le Brünig, a préparé la dépression du lac d'Alpnach et du golfe de Küssnacht ; comment une ancienne Reuss prolongeait la ligne du lac d'Uri par celui de Zoug, notre intention n'est pas de discuter le détail ni la succession des phénomènes. Ce qui est incontestable, et apparaît au premier coup d'œil (*7*), c'est que le dessin actuel du lac résulte de multiples états successifs, où le cours des rivières était déterminé par la situation tectonique : vallées transversales de Lucerne et d'Altdorf, dépressions longitudinales de Hergiswil à Vitznau, de Stans à Schwyz. Donc la tectonique a changé depuis la formation des Alpes et le dépôt des Molasses ; des mouvements récents, postérieurs au Tortonien en tout cas, ont modifié à plusieurs reprises le tracé des cours d'eau.

Un fait m'a particulièrement frappé lorsque j'ai parcouru ce lac en septembre 1941 : c'est la position des couches du Vitznauerstock par rapport aux bancs de conglomérats du Rigi (*8*, coupe 4). Les poudingues du Rigi atteignent 1800 m. d'altitude, et s'inclinent d'environ 15° vers le SE. Du côté du Vitznauerstock, leurs bancs sont coupés net, par une surface redressée à 75°, contre laquelle s'appliquent le Flysch subalpin et les couches crétacées des écailles helvétiques frontales (cf. fig. 3, coupe B).

Ces conglomérats polygéniques datent du Chattien, ou Stampien supérieur (*9*), comme les poudingues du Pélerin au-dessus de Vevey. A cette époque, les Préalpes romandes avaient déjà roulé sur leur tapis de Molasse rouge, qui est immédiatement antérieure : le Pélerin est le delta d'un segment du Rhône établi dans la dépression transversale entre les deux arcs préalpins. On en a la preuve, puisque ses galets sont presqu'exclusivement préalpins, avec une forte proportion de radiolarites provenant d'une des nappes supérieures des Préalpes, la nappe de la Simme. De même, Leupold a montré récemment, avec Tanner et Speck (*23*), que les éléments de cette même nappe se trouvent en abondance dans le poudingue du Rigi. A cette époque aussi, le « Wildflysch » glaronnais s'étendait déjà sur l'autochtone.

La masse du Rigi a dès lors été charriée sur la Molasse plissée, et ces mouvements sont postérieurs au Tortonien puisque la Molasse tortonienne s'est redressée jusqu'à la verticale aux environs de Zoug. Or, au Tortonien, le grand charriage des nappes helvétiques était accompli certainement, car les conglomérats de cet âge sont en partie formés de leurs débris roulés.

On admet généralement, et c'est fort probable, que la masse de conglomérats du Rigi a fait obstacle, dès l'origine, à l'avancée du front des nappes helvétiques. De part et d'autre de cette masse, en effet, le bord chevauchant du Flysch sur la Molasse décrit une courbe convexe vers l'avant-pays, soit du côté d'Einsiedeln, soit du côté du Pilate. Il semble que le Pilate ait glissé dans une dépression pré-existante, à l'W de cet obstacle.

Ce qui est, néanmoins, dès maintenant établi, c'est que le soulèvement du Rigi à son altitude actuelle est postérieur à la mise en place du front des nappes helvétiques.

La coupe du Rigi et du Vitznauerstock est particulièrement frappante, mais les dispositions sont pareilles tout le long du bord des Alpes suisses, du Pélerin jusqu'au Säntis. Le relèvement du front des plis bordiers vers l'avant-pays, que ce soient des arcs préalpins ou des nappes helvétiques, n'est pas originel. Les nappes ont glissé sur un plan incliné qui ne remontait pas, ou ne remontait que très faiblement vers l'aval, et c'est une surrection postérieure de l'avant-pays molassique qui a soulevé leur bord frontal. En Suisse orientale, la montée du Säntis à l'assaut de la molasse, la dépression synclinale d'Amden derrière lui, sont postérieures au charriage.

Ainsi, la belle courbure du plan de glissement des Alpes glaronnaises n'est pas originelle, comme le croit Ampferer. On peut prouver, au contraire, qu'elle ne s'est incurvée qu'après le chevauchement principal.

L'image du « déferlement » (Brandung) qu'Arnold Heim avait introduite en 1907 (*19*), reste juste : c'est bien sur une surface précédemment érodée de l'avant-pays molassique, que le front des nappes helvétiques — comme celui des Préalpes — a fini par s'arrêter. Mais il ne faut pas se représenter ce front escaladant une falaise aussi forte que les coupes de l'état actuel nous la figurent. Si remontée il y avait, elle était beaucoup moins accusée qu'aujourd'hui.

Au Rigi, on a en outre l'impression très nette que les couches du Vitznauerstock ont glissé *en arrière,* contre la tranche des bancs de conglomérats chattiens. Il en est de même

au Pilate, à la Rigihochfluh, — et à Wesen, au bord du lac de Wallenstadt. Ceci impliquerait qu'au soulèvement de l'avant-pays molassique a correspondu un affaissement des masses helvétiques, au SE du bord frontal. Cet affaissement semble la cause de l'effilement vers le bas des noyaux crétacés, que l'on constate dans les chaînons marginaux. Le même phénomène s'observe dans certains éléments frontaux des Préalpes, et par une cause analogue (*29*, p. 76).

III. — *L'écaillement de la Molasse.*

Si les nappes helvétiques, avec localement leur surcharge de paquets préalpins et austro-alpins, ont glissé depuis le faîte du massif de l'Aar, par un lent écoulement sous l'effet de la pesanteur, ce n'est pas leur poussée qui a déterminé l'écaillement de la Molasse, ainsi qu'on pouvait le supposer encore il y a dix ans.

Quel fut donc le moteur des écailles molassiques ? C'est un des problèmes que pose à nouveau la tectonique d'écoulement, comme elle pose à nouveau celui du plissement du Jura (*27*, *14*).

Si je fais allusion au problème des écailles et des plis de la Molasse, c'est pour reconnaître simplement qu'il ne me paraît pas possible de le résoudre, dans l'état de nos connaissances et de nos réflexions, par des méthodes purement géologiques.

On peut bien invoquer l'une des poussées insubriennes (la dernière, probablement), on peut supposer des chevauchements cassants dans le socle hercynien, mais aucune de ces hypothèses n'est actuellement vérifiable par l'observation géologique. Ou du moins, je n'entrevois, je n'imagine aucun moyen précis de vérification. C'est dire que l'hypothèse me semblerait inutile, conformément à l'aphorisme de Poincaré que nous citions au début.

Heureusement, il existe d'autres méthodes : celles de la géophysique. C'est ici qu'elles pourraient nous rendre d'éminents services. Des recherches sont déjà entreprises entre autres par notre collègue Edouard Poldini, chargé de cours à l'Uninersité de Genève ; il est en train d'étudier l'anomalie magnétique de Lausanne, qui coïncide justement avec la trace du plan de chevauchement d'une écaille molassique. Peut-être un résultat du plus haut intérêt émergera-t-il de ses mesures.

IV. — *Phases d'écoulement des nappes helvétiques.*

Nous avons supposé que les nappes glaronnaises se sont mises en place par un lent écoulement. Nous avons rappelé le résultat de l'intuition d'Otto Ampferer et des analyses de Leupold, à savoir que la masse du « Wildflysch » glaronnais avait glissé la première, au cours d'une phase précoce, accomplie à l'époque du Chattien.

Mais dans le mouvement principal du charriage des nappes helvétiques, pourrait-on distinguer un ordre de succession, des étapes dans le glissement ?

A la recherche d'une réponse, l'article si suggestif d'Ampferer (*1*) désigne a notre attention la coupe du Glärnisch ; il en présente (p. 117) un dessin schématique que nous reproduisons ici (fig. 2).

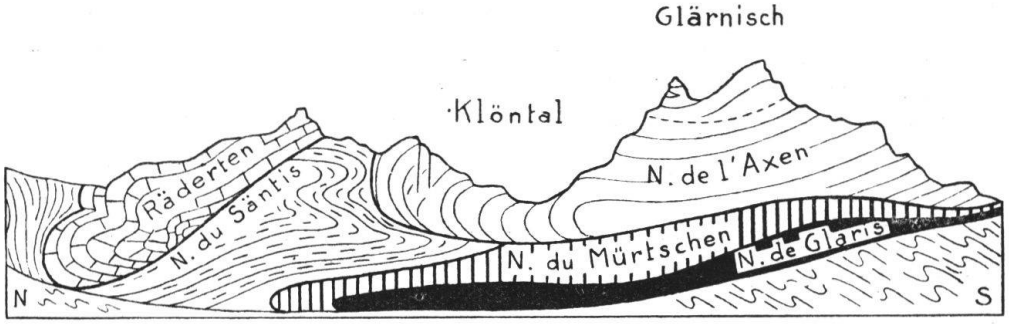

FIG. 2. — Coupe du Glärnisch, selon le dessin d'O. Ampferer.

Les travaux classiques de J. Oberholzer (*30*) nous ont appris qu'au N du Glärnisch le front de la nappe de l'Axen constitue le Deyenstock et s'appuie contre une série renversée de la nappe ou digitation du Wiggis-Säntis (cf. *17*, fas. XII, fig. p. 913).

Ampferer donne de cette structure l'interprétation suivante. La nappe de l'Axen occupe ici un profond sillon taillé par l'érosion dans la nappe du Säntis. L'arrivée du front de la nappe de l'Axen a cependant bousculé devant lui ce bord d'érosion. Alors les nappes de Räderten et du Fluhberg (Drusberg), survenues plus tard, ont pu franchir cet obstacle et glisser par-dessus. Ce sillon d'érosion, occupé par le front de la nappe de l'Axen, se poursuit vers le SE par le lac des Quatre cantons jusqu'à Engelberg, sur 75 km. de longueur.

Ainsi la succession des événements, entre Glaris et Engelberg, serait :

1° Mise en place, par glissement, de la nappe du Säntis-Wiggis.

2° Erosion profonde entaillant son bord radical sur 75 km. de longueur au moins.

3° Arrivée de la nappe de l'Axen qui s'arrête dans ce sillon et en bouscule le bord.

4° Arrivée des nappes de Räderten et du Fluhberg qui franchissent l'obstacle.

L'analyse est ingénieuse. Seulement, depuis le mémoire fondamental de Maurice Lugeon (*25*) qui date de 1902, il est établi que les « nappes » du Wiggis-Säntis, de Räderten et du Fluhberg (ou Fluhbrig) ne sont que trois digitations d'une même nappe, qu'Arnold Heim a baptisée « nappe du Drusberg ». Et les recherches subséquentes d'Albert Heim, d'Oberholzer, de Buxtorf et d'Arbenz ont pleinement confirmé cette liaison, cette unité. Dans la nouvelle interprétation d'Helbling (*20*) cette nappe Drusberg-Säntis devient, au NE, la « nappe crétacée ».

Si l'on considère la situation réciproque de cette nappe et de celle de l'Axen au-dessus d'Engelberg — où la carte, les coupes et le magistral stéréogramme de Paul Arbenz la montrent à l'évidence (*3*, *4*) — on se rend compte que l'interprétation d'Ampferer est incompatible avec la réalité. La comparaison des deux coupes, alors — celle d'Engelberg et celle du Glärnisch — permet de reconstituer sans équivoque les grands traits de l'histoire.

On les suivra sur les dessins qu'Arbenz a composés pour le *Guide géologique de la Suisse* (*17*, fasc. II, pl. II) et dont nous donnons ici une image à peine simplifiée (fig. 3).

C'est évidemment la nappe de l'Axen qui s'est mise à glisser la première, puisqu'elle est sous la nappe du Drusberg. Dans le secteur d'Engelberg, les coupes d'Arbenz (fig. 3, coupe C ; cf. aussi *17*, fasc. X, p. 777) évoquent un très joli phénomène local : le noyau jurassique de la nappe supérieure (nappe du Drusberg) s'est enfoncé dans l'Aalénien et le Lias schisteux de la nappe inférieure, empilant devant lui le Dogger et le Malm de la nappe de l'Axen en trois grands anticlinaux couchés, superposés. En même temps, ce noyau jurassique de la nappe du Drusberg, contraint par le glissement de sa puissante couverture crétacée, s'accumulait au-dessus de ce creux en une série de replis impressionnants : les célèbres replis du Hutstock. De son côté la couverture crétacée de la nappe du Drusberg, décollée de son noyau jurassique et conti-

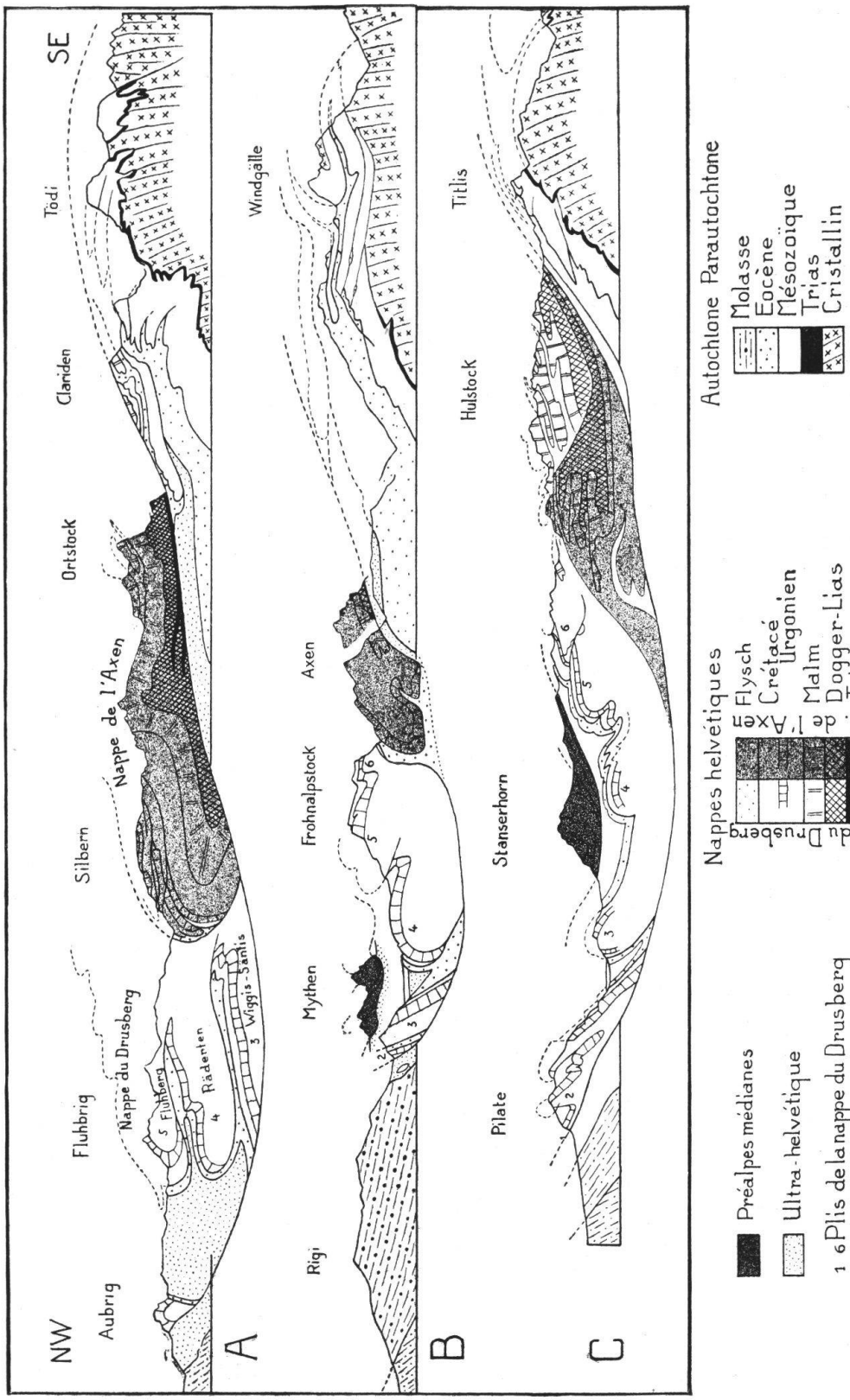

FIG. 3. — Coupes de Paul Arbenz à travers les nappes helvétiques (1934).

nuant à dévaler la pente (avec une grande lenteur sans doute), surchargée encore des masses préalpines de l'Arvigrat, du Stanserhorn, du Buochserhorn et de la Klevenalp, entraînait sous elle le Crétacé de la nappe de l'Axen. La partie frontale de la masse crétacée du Drusberg (le futur Pilate) s'étant arrêtée dans la dépression à l'W du delta du Rigi — arrêt par freinage de la base, tandis que les rides de la carapace avancent encore les unes sur les autres — le gros bourrelet du Bürgenstock, plus interne, chevauche un peu ce front immobilisé. Rappelons que les plis du Pilate, alors, n'étaient pas relevés comme aujourd'hui ; l'affaissement de la partie centrale n'avait pas effilé vers le bas cette masse frontale, qui devait être encore liée au bourrelet du Bürgenstock.

Cette remarquable coupe, dessinée par Arbenz en 1933, sans aucune idée de la tectonique d'écoulement, s'anime et parle d'elle-même dès qu'on fait intervenir cette notion.

Et maintenant qu'en est-il du Glärnisch (fig. 3, coupe A) ?

Les trois digitations Wiggis-Säntis, Räderten et Fluhberg (ou Fluhbrig) constituent la nappe du Drusberg, ici bousculée et légèrement chevauchée par le front de la nappe de l'Axen. Comme à Engelberg, bien entendu, c'est la nappe de l'Axen qui a glissé la première (la première des deux, car nous savons d'autre part qu'elle a recouvert obliquement la nappe du Mürtschen et des écailles parautochtones qu'Oberholzer rattachait à la nappe de Glaris). La nappe du Drusberg glissa par-dessus celle de l'Axen, dont elle dépassa le front, puis s'arrêta, freinée par le frottement de sa base et ne laissant s'écouler au loin que son extrême pointe : l'Aubrig. Mais alors la nappe de l'Axen s'est remise en mouvement. Fut-elle entraînée par la partie plus interne de la masse du Drusberg qui continuait à glisser sur elle, c'est bien probable. Toujours est-il que l'ancien front de la nappe de l'Axen se mit à rouler sur lui-même, comme le front d'une coulée de lave, et vint écraser l'arrière de la masse frontale de la nappe du Drusberg. En même temps, sans doute, et d'un même mouvement, les deux gros bourrelets qui plus à l'W constituent le Frohnalpstock, continuèrent à couler pour échafauder au-dessus de l'ancien front de la masse du Drusberg, les digitations de Räderten et du Fluhberg.

Deux secteurs différents, deux histoires différentes. Mais ce sont les deux mêmes ensembles rocheux qui glissent l'un sur l'autre ; les conditions seules diffèrent. Entre ces deux secteurs, la disposition si curieuse du Frohnalpstock et de l'Axenkette (fig. 3, coupe B) n'est-elle pas déterminée par la

résistance qu'opposait le grand delta du Rigi, déjà légèrement surélevé ?

Plus à l'E, enfin, la splendide monographie de Robert Helbling (*20*) nous a révélé que ces deux nappes, Axen et Drusberg, n'en font plus qu'une. Il n'y a plus qu'une grande masse glissée, à base de Verrucano, que la résistance par frottement de sa semelle a divisée en une série de digitations chevauchant les unes sur les autres, tandis que le Lias, le Dogger-Malm, le Crétacé, chacun pour leur part, faisaient de même.

Des phénomènes comme ceux de l'histoire du Glärnisch, avec une masse inférieure qui s'arrête, ou du moins ralentit, puis se remet en mouvement, par-dessus la partie frontale d'une masse supérieure qui l'avait dépassée, où pouvons-nous les observer à l'échelle humaine (échelle du temps et de l'espace), si ce n'est dans les glissements de terrains ? C'est aussi dans de très vastes glissements de terrains qu'on voit une seule et même masse, comme dans l'Est glaronnais, se subdiviser en deux nappes superposées et successives, par le freinage ou l'arrêt de la coulée basale.

Ainsi tout nous porte à admettre, comme hypothèse de travail, la notion de tectonique d'écoulement pour les nappes glaronnaises, et pour l'ensemble des nappes helvétiques, comme pour les Préalpes romandes.

V. — *Quelques problèmes.*

Si l'analogie avec les glissements de terrains nous permet une harmonieuse vision de la structure et de l'histoire des nappes helvétiques, elle pose du même coup une série de questions.

Les nappes glaronnaises ont-elles glissé sur une surface déjà érodée ? A la fin de leur course, nous le savons : c'est le fameux « déferlement » sur la Molasse découvert par Arnold Heim (*19*). Mais plus en amont ? On peut le supposer avec vraisemblance, mais pour l'instant je n'en aperçois aucune preuve décisive. Sur les masses de Flysch qu'elles ont recouvertes, les marques de l'érosion doivent facilement s'effacer. Peut-être, cependant, les recherches minutieuses de W. Leupold l'amèneront-elles à constater des signes manifestes d'érosion, soit dans l'autochtone avant le glissement précoce du « Wildflysch », soit dans les paquets du « Wildflysch » avant le recouvrement principal de la nappe glaronnaise, comme l'a supposé Ampferer.

Pendant qu'elles glissaient, ces nappes glaronnaises, leur surface était-elle à l'air libre et soumise elle-même à l'érosion ?

C'est peu probable. Les coulées helvétiques devaient être en grande partie recouvertes par des nappes préalpines et austro-alpines qui, elles, étaient victimes de l'érosion, puisqu'on en retrouve les débris dans les conglomérats de la Molasse.

L'étude détaillée de ces conglomérats se révèle donc d'un intérêt toujours plus puissant ; et l'article publié à leur sujet, en 1942, par Leupold, Tanner et Speck (*23*) fait espérer des révélations précieuses. Il nous apprend, je l'ai déjà rappelé, que les poudingues chattiens du Rigi contiennent de nombreux galets provenant de l'usure de la nappe de la Simme. Il ajoute que dans les poudingues aquitaniens du Zugerberg, ces éléments sont déjà beaucoup plus rares. Ainsi la nappe de la Simme, tout comme dans nos Préalpes romandes, présentait une considérable extension et fut en majeure partie démantelée dès le Chattien.

Cette nappe se trouvait-elle alors, en Suisse orientale, avec les autres unités préalpines, sur le dos des séries helvétiques, ou bien avait-elle largement débordé leur front resté fort en arrière, comme dans le secteur des Préalpes romandes ? C'est encore une question, et de grande importance pour l'histoire de la chaîne, puisqu'elle permettrait de préciser l'époque du principal charriage des nappes helvétiques. Mais elle ne sera pas facile à trancher ; je ne vois d'autre méthode possible pour y parvenir qu'une étude toujours plus poussée des conglomérats molassiques. Arnold Escher et Baumberger ont déjà signalé des galets de grès de Taveyanne dans les poudingues chattiens du Rigi et du Rossberg (cf. *23*, p. 242). C'est là une indication précieuse mais insuffisante, parce qu'elle peut s'interpréter de diverses façons. Si, à l'Oligocène, la nappe préalpine de la Simme a fortement dépassé le domaine helvétique, peut-être a-t-elle entraîné des lambeaux de nappes helvétiques inférieures où se localise le grès de Taveyanne ?

Dans les Préalpes romandes, nous avons pu démontrer, M. Lugeon et moi, qu'avant le grand glissement de la nappe des Préalpes médianes sur la Molasse rouge, cette nappe avait subi, dans sa partie radicale, de très importantes érosions, puis le recouvrement de la nappe de la Brèche, qu'avait sans doute devancé de longtemps celui de la Simme. Le charriage principal des Préalpes, au début du Chattien — à la même époque que le « Wildflysch » glaronnais — a donc été précédé de toute une longue histoire, pendant l'avance même de ces nappes, entre leur « mise en marche » et leur « mise en place ». C'est une des faveurs de la tectonique d'écoulement, de nous révéler une succession d'événements si variés dans ce qu'on

tenait jusqu'alors pour un instant de paroxysme, dans le naissance de la chaîne.

Oberholzer et Heim, dans leur réponse à Otto Ampferer (*31*) se figurent qu'un glissement doit être nécessairement rapide — et l'image de la « trajectoire » que présentait le géologue viennois, avec sa courbe de toboggan (fig. 1), incitait à ce préjugé. Mais l'exemple des Préalpes médianes nous montre clairement le contraire : la reptation de cette nappe sur son plan de glissement a dû s'effectuer avec une extrême lenteur, et de longs arrêts, pour qu'un réseau hydrographique puisse s'établir sur sa carapace et enlever de grandes parties de sa région radicale avant l'arrivée, dans ces dépressions topographiques, des lobes de la nappe de la Brèche.

Lors de l'écoulement des Préalpes médianes, nous constatons des épisodes analogues à ceux des nappes glaronnaises au Glärnisch : avance de la masse frontale, qui se détache de la partie radicale ; puis accélération de cette partie radicale en retard, qui vient chevaucher la masse frontale — ainsi que le front de la nappe de l'Axen, au Deyenstock, vient chevaucher la digitation du Wiggis. Mais jusqu'ici, dans les nappes glaronnaises, on n'a rien décelé de pareil aux érosions des Préalpes médianes au cours de leur avancée.

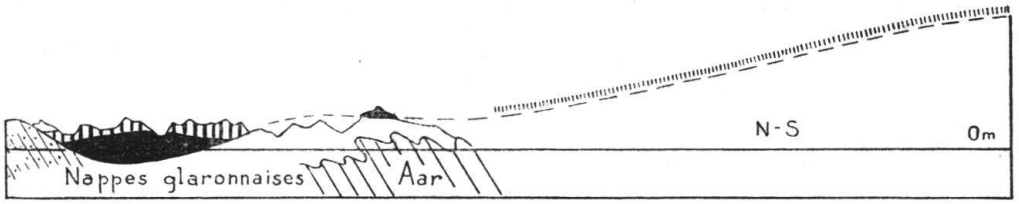

FIG. 4. — L'origine des nappes glaronnaises, d'après O. Ampferer.

VI. — *Les nappes penniques.*

C'est encore les articles si intéressants d'Otto Ampferer qui nous conduisent à ce problème.

Pour les Préalpes romandes comme pour les Alpes helvétiques (et pour les Alpes calcaires septentrionales de Bavière et d'Autriche[1]), Ampferer s'étonne de ne pas trouver leur prolongement vers le Sud. Les nappes glaronnaises, pour lui, devaient s'étendre au S du massif de l'Aar suivant une surface montante qui se développait sur 40 ou 50 kilomètres environ

[1] On sait que dernièrement un disciple d'Ampferer, Andreas Thurner, a donné une extension beaucoup plus grande encore que son maître à la tectonique d'écoulement, aux érosions précédant les charriages, dans son audacieuse interprétation des Alpes calcaires septentrionales (*38*).

(*1*, p. 120, fig. 6, que nous reproduisons ici, fig. 4). Comme on ne les y connaît point, Ampferer conclut à un formidable effondrement de toute la contrée, une immense zone d'engloutissement (Verschluckung) dans laquelle la partie méridionale des nappes préalpines doit être aujourd'hui ensevelie, 10 km. pour le moins au-dessous du niveau de la mer, sous les nappes penniques.

La fig. 5, tirée de son article de 1942 (2, p. 19) donne une image schématique de la conception d'Ampferer.

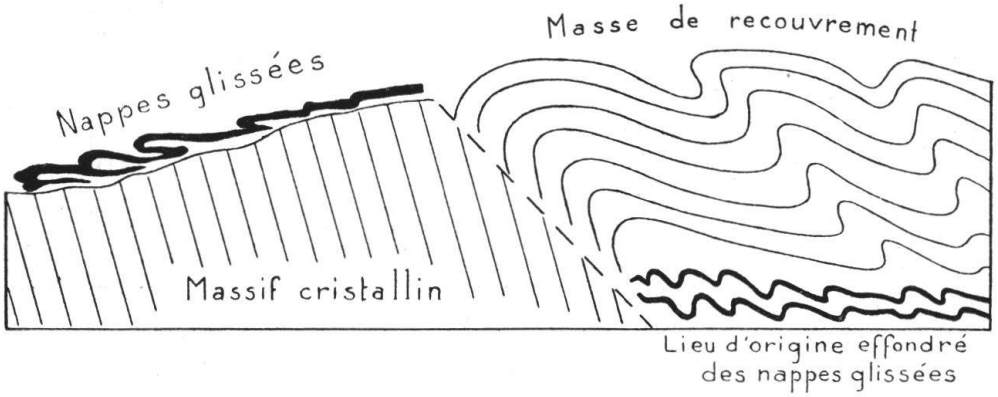

FIG. 5 — La zone d'engloutissement, berceau des nappes penniques suivant Ampferer.

L'auteur semble méconnaître ici une conséquence pourtant évidente de sa propre hypothèse : quand des terrains ont glissé d'un endroit dans un autre, ils n'existent plus au premier endroit. Ampferer estime qu'on devrait les y trouver. Dans ses deux mémoires à l'Académie des Sciences de Vienne (*1*, 2), comme dans beaucoup d'autres écrits depuis qu'il a proposé en 1911 sa « théorie de l'engloutissement » (Verschluckungstheorie), il revient sur cette affirmation qui nous paraît le diriger vers une impasse.

L'idée d'Ampferer implique, en effet, que la formation des nappes penniques serait postérieure à celle des nappes helvétiques et préalpines. Les nappes helvétiques, selon cette théorie, seraient plus anciennes que les nappes penniques — alors que nous pouvons être certains du contraire.

Qu'un affaissement de grande envergure ait eu lieu au S du massif de l'Aar, de toute la partie antérieure des nappes penniques, cela est plus que probable ; ce n'est pas contre cet élément de la théorie d'Ampferer que nous nous élevons. Mais cet affaissement s'est produit après, bien après la formation de ces nappes. Il s'est produit sans doute par iso-

stasie, en corrélation avec le soulèvement des Massifs centraux, lequel s'est poursuivi pendant le Quaternaire, jusqu'à l'avant-dernière glaciation probablement (*12*, p. 55). Tout comme l'affaissement du domaine helvétique semble en corrélation avec le soulèvement de l'avant-pays molassique dont nous avons traité plus haut.

L'affaissement est donc l'effet de la superposition des nappes penniques, bien loin d'être sa cause ainsi que le voudrait la « Verschluckungstheorie ».

L'erreur d'Ampferer à cet égard est d'autant plus curieuse qu'à plusieurs reprises, et notamment au début de son article de 1942 (2), il insiste sur cette idée très juste que la tectonique d'écoulement ne peut s'appliquer qu'à certaines parties des Alpes, et spécialement à leur bord externe. Mais dans l'application qui l'amène à sa théorie de l'engloutissement, il semble oublier ce principe capital ; il cède à la tentation d'expliquer toutes les régions des Alpes par un seul et même mécanisme ; il tombe dans l'erreur qui a conduit Haarmann et ses séïdes (*18*, *21*) à de si manifestes absurdités.

En effet, la mise en marche des nappes alpines, que ce soient celles des Préalpes ou de la zone helvétique, ne se comprend que par l'effet d'une poussée tectonique, d'une compression tangentielle, d'un « refoulement latéral », comme l'ont montré Edouard Suess, Albert Heim, Marcel Bertrand, Pierre Termier, Emile Argand, Rudolf Staub, et avant eux tous Horace-Bénédict de Saussure.

La tectonique d'écoulement ne contredit en aucune façon ce que nous ont appris de positif les créateurs de la tectonique orogénique. La tectonique d'écoulement n'est, en fait, qu'un complément à la tectonique classique. Elle ne s'exerce que sur un domaine restreint : le surplus de matière que les formidables compressions du centre de la chaîne ont fait déborder le cadre de l'ancien géosynclinal.

Mais dans ce domaine restreint, la tectonique d'écoulement nous a révélé beaucoup de phénomènes insoupçonnés et, comme nous le notions au début, elle nous pose encore plus de questions qu'elle n'apporte de réponses. C'est ce qui fait pour nous sa valeur et sa fécondité.

Car les paroles d'Hamlet à son ami ne doivent pas être oubliées : il y a plus de choses dans le ciel et sur la terre que n'en rêve notre philosophie. Ces choses, c'est à la science à les découvrir.

Ouvrages cités.

1. O. Ampferer : Ueber die Gleitformung der Glarner Alpen. — *Sitzungsber Akad. der Wiss. in Wien,* Abt. I, 143. Bd., 1-2. Heft, p. 109, 1934.
2. O. Ampferer : Ueber die Bedeutung von Gleitvorgänge für den Bau der Alpen. — *Sitzusgsber. Akad. der Wiss. in Wien,* Abt. I, 151. Bd., 1-6. Heft, p. 9, 1942.
3. P. Arbenz : Geol. Karte des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen, 1 : 50.000. — *Comm. géol. Suisse,* carte spéciale nº 55, 1911.
4. P. Arbenz : Geol. Stereogramm des Gebirges zwischen Engelberg und Meiringen. — *Comm. géol. Suisse,* carte spéciale nº 55 bis, 1913.
5. E. Argand : Sur l'arc des Alpes occidentales. — *Eclogae geol. Helvet.*, vol. 14, p. 145, 1916.
6. E. Argand : Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes. — *Actes Soc. helvétique Sc. nat.*, 101e session, Neuchâtel, 2e partie, p. 13, 1920.
7. A. Buxtorf, A. Tobler, G. Niethammer, E. Baumberger, P. Arbenz, W. Staub : Geol. Vierwaldstättersee-Karte, 1 : 50.000. — *Comm. géol. Suisse,* carte spéciale nº 66a, 1916.
8. A. Buxtorf : Profiltafel zur geol. Vierwaldstättersee - Karte, 1 : 50.000. — *Comm. géol. Suisse*, carte spéciale nº 66b, 1916.
9. A. Buxtorf, J. Kopp und L. Bendel : Stratigraphie und Tektonik der aufgeschobenen subalpinen Molasse zwischen Horw und Eigenthal bei Luzern. — *Eclogae geol. Helvet.*, vol. 34, p. 135, 1941.
10. J. Cadisch : Die Entstehung der Alpen im Lichte der neuen Forschung. — *Verh. Naturf. Ges. in Basel,* vol. 54, p. 32, 1942.
11. G. Dal Piaz : L'influenza della Gravità nei fenomeni orogenetici. — *Atti della R. Acad. d. Sc. di Torino,* vol. 77, 1942.
12. E. Gagnebin : Les invasions glaciaires dans le bassin du Léman. — *Bull. Soc. vaudoise Sc. nat.*, vol. 59, p. 105. — *Bull. Labor. géol. Lausanne,* nº 58, 1937.
13. E. Gagnebin : Les idées actuelles sur la formation des Alpes. — *Actes Soc. helvét. Sc. nat.*, 122e session, Sion, p. 47, 1942.
14. E. Gagnebin : Vues nouvelles sur la géologie des Alpes et du Jura. — *Bull. Soc. neuchâteloise Sc. nat.*, t. 67, p. 128, 1942.
15. M. Gignoux et L. Moret : Description géologique du bassin supérieur de la Durance. — *Trav. Labor. géol. Grenoble,* vol. 21, 1938

16. M. Gignoux et L. Moret : Géologie dauphinoise, ou initiation à la géologie par l'étude des environs de Grenoble. — B. Arthaud; Grenoble et Paris 1944.

17. Guide géologique de la Suisse, publié par la Soc. géol. suisse à l'occasion de son cinquantenaire. — B. Wepf, Basel 1934.

18. E. Haarmann : Die Oszillations-Theorie. Eine Erklärung der Krustenbewegungen von Erde und Mond. — F. Enke, Stuttgart 1930.

19. Arn. Heim : Die Brandung der Alpen am Nagelfluhgebirge. — *Eclogae geol. Helvet.*, vol. 9, p. 386, 1907.

20. R. Helbling : Zur Tektonik des St. Galler Oberlandes und der Glarneralpen. — *Mat. Carte géol. Suisse,* nouv. sér., 76e livr., texte et atlas, 1938.

21. E. Kraus : Der Abbau der Gebirge. Bd. I : Der Alpine Bauplan. — Borntraeger, Berlin 1936.

22. W. Leupold : Neue Beobachtungen zur Gliederung der Flyschbildungen der Alpen zwischen Reuss und Rhein. — *Eclogae geol. Helvet.*, vol. 35, p. 247, 1942.

23. W. Leupold, H. Tanner und J. Speck : Neue Geröllstudien in der Molasse. — *Eclogae geol. Helvet.*, vol. 35, p. 235, 1942.

24. Aug. Lombard : Remarques sur la notion de tectonique d'écoulement. — *C. R. séances Soc. phys. et hist. nat. Genève,* vol. 57, p. 64, 1940.

25. M. Lugeon : Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. — *Bull. Soc. géol. France*, 4e sér., vol. 1, p. 723, 1902.

26. M. Lugeon : Sur la formation des Alpes franco-suisses. — *C. R. somm. Soc. géol. France*, 1940, p. 7.

27. M. Lugeon : Une hypothèse sur l'origine du Jura. — *Bull. Soc. vaudoise Sc. nat.*, vol. 61, no 256, p. 465. — *Bull. Labor. géol. Lausanne*, no 73, 1941.

28. M. Lugeon et D. Schneegans : Sur le diastrophisme alpin. — *C. R. Acad. Sc. Paris,* t. 210, p. 87, 15 janv. 1940.

29. M. Lugeon et E. Gagnebin : Observations et vues nouvelles sur la géologe des Préalpes romandes. — *Mém. Soc. vaudoise Sc. nat.*, vol. 7, no 1. — *Bull. Labor. géol. Lausanne*, no 72, 1941.

30. J. Oberholzer : Geologie der Glarneralpen. — *Mat. Carte géol. Suisse*, nouv. sér., 28e livr., texte et atlas, 1933.

31. J. Oberholzer und Alb. Heim : Zu Otto Ampferers « Gleitformung der Glarneralpen » und « Flimser Bergstutz ». — *Eclogae geol. Helvet.* vol. 27, p. 507, 1934.

32. Ed. Reyer : Ursachen der Deformationen und der Gebirgsbildung. — Leipzig 1892.

33. H. Schardt : Sur l'origine des Préalpes romandes (zone du Chablais et du Stockhorn). — *Eclogae geol. Helvet.*, vol. 4, p. 129, 1893.

34. D. SCHNEEGANS : La géologie des nappes de l'Ubaye-Embrunais entre la Durance et l'Ubaye. — *Mém. Carte géol. France.* — *Thèse* Fac. Sc. Grenoble, 1938.

35. R. STAUB : Der Bau der Alpen. — *Mat. Carte géol. Suisse,* nouv. sér., 52e livr., 1924.

36. R. STAUB : Der Bewegungsmechanismus der Erde, dargelegt am Bau der irdischen Gebirgssysteme. — Borntraeger, Berlin 1928.

37. R. STAUB : Grundzüge und Probleme alpiner Morphologie. — *Mém. Soc. helvétique Sc. nat.*, vol. 69, mém. 1, 1934.

38. ANDREAS THURNER : Reliefüberschiebungen in den Ostalpen. — *Fortschritte der Geol. und Paleont.*, Bd. 14, Heft 48, Borntraeger, Berlin 1943.