

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 7 (1901-1903)
Heft: 7

Artikel: Ille partie, Géologie dynamique
Autor: Sarasin, Ch.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-155945>

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: 10.02.2026

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

Aérolithes.

Le 30 novembre 1901, un aérolithe est tombé à Châtillens, dans la vallée de la Broye, et trois fragments en ont été retrouvés presque immédiatement par M. DÉCOSTERD, forestier cantonal. D'après les renseignements récoltés par M. M. LUGEON¹, nous savons que cet aérolithe, du poids total de 705 grammes, est un sporadosidère ; sa densité est de 3.20 ; les grains métalliques y sont nettement visibles à l'œil nu.

Ce météorite a d'abord été aperçu à l'Etivaz, puis au-dessus d'Ollon et dans la vallée de l'Eau froide, avec une direction EW, puis, arrivé au-dessus de Châtillens, il a éclaté une première fois ; sa direction était ici S-N ; il a continué sa marche vers Moudon où de nouveaux éclatements se produisirent vers Payerne et vers Avenches.

M. E. COHEN² a fait un nouvel examen du **météorite de Rafrüti** (Emmenthal). N'ayant pas pu me procurer la publication de M. Cohen, je me contente de la citer ici.

III^e PARTIE — GÉOLOGIE DYNAMIQUE

Actions et agents externes.

SOURCES ET EAUX D'INFILTRATION.

Chacun sait que les **venues d'eau excossivement abondantes dans le tronçon S du tunnel du Simplon** ont constitué une des grosses difficultés de l'entreprise. M. H. SCHARDT³, qui a longuement étudié la question, a résumé ses observations dans une note communiquée à la Société vaudoise des sciences naturelles et plus spécialement dans un rapport adressé à la direction de l'entreprise⁴.

¹ M. LUGEON. L'aérolithe de Châtillens. *Bull. Soc. vaud. des sc. nat.*, t. XXXVIII. C. R. de la séance du 4 déc. 1901. Voir aussi *Le Globe*, organe de la Soc. géogr. de Genève, Bulletin, t. XLI, p. 36-38.

² E. COHEN. Das Meteoreisen von Rafrüti im Emmenthal. *Mittheil. des naturw. Vereins f. Neupommern und Rügen*, 34, 1902.

³ H. SCHARDT. Résultats géologiques obtenus par le percement du tunnel du Simplon. *Bull. Soc. vaud. des sc. nat.*, t. XXXVI. C. R. de la séance du 19 fév. 1902.

⁴ H. SCHARDT. Rapport sur les venues d'eau rencontrées dans le tunnel du Simplon du côté d'Iselle. Imprimerie Corbaz, Lausanne, 1902.

De ces deux publications, nous extrayons les renseignements qui suivent :

Sur presque tout le parcours du tunnel à travers le gneiss d'Antigorio les venues d'eau ont été peu abondantes et en général éphémères malgré le caractère essentiellement perméable de la roche, qui est coupée par d'innombrables fissures capillaires. Ce n'est qu'à partir du kilom. 3.830 que des sources importantes ont commencé à jaillir du gneiss à 500 m. du contact entre celui-ci et les calcaires sous-jacents ; en outre, le fait que plusieurs d'entre elles sont chargées de sulfate de chaux montre que le niveau collecteur de ces eaux n'est pas le gneiss, mais la zone de calcaires qui affleure sur le flanc E du Teggiolo et qu'on retrouve dans le tunnel au kilom. 4.330 plongeant sous le gneiss.

La sortie des eaux s'est faite sur une longueur de 600 m. dont 100 seulement dans les calcaires ; la plus volumineuse des sources provient pourtant de ces derniers. L'on a compté 41 sorties d'eau distinctes dans chaque galerie ; leur température s'est abaissée graduellement, tombant de 28° qu'elle était pour les premières sources importantes au kilom. 3.824, à 13° pour les sources sorties au kilom. 4.4. Leur degré de dureté s'est montré très variable atteignant 72° dans une eau jaillissant au kilom. 4.425 et réduit à 12° dans une source du kilom. 4.068 ; d'une façon générale, les eaux sortant des calcaires sont plus dures que celles qui sortent du gneiss.

Toutes les sources ont subi un abaissement progressif de leur température et une augmentation de leur dureté ; la généralité du phénomène indique que les eaux qui se déversent dans le tunnel proviennent non pas de venues d'eau permanentes, mais d'une sorte de réservoir d'eau remplissant les fissures et les vides des calcaires. L'infiltration doit se produire sur les flancs du Teggiolo et dans la dépression de Vallé, où affleurent les schistes calcarifères et les calcaires cristallins. De là les eaux descendaient dans les calcaires, qu'elles imprégnaient ; le débordement de cette nappe souterraine devait se faire par les sources de Nembro sur la rive droite de la Cairasca à 700 m. au-dessus du niveau du tunnel. Ces sources qui, le 29 octobre 1901, avaient encore un débit de 6000 litres avaient complètement tari le 3 décembre suivant, pendant que celles voisines de la Prese de Gebbo n'avaient subi aucune modification. Tandis que les eaux de Nembro ne renferment pas de sulfate de chaux, celle de Gebbo sont au contraire gypsifères ; ce contraste, qui

se retrouve entre les diverses sources du tunnel, s'explique par le fait que les eaux d'infiltration doivent occuper un système de lacunes plus ou moins indépendantes ; c'est pour la même raison que certaines sources ont subi des modifications dans leur composition par suite de changements dans la circulation des eaux souterraines qui les alimentaient.

Les infiltrations considérables qui traversent les calcaires et le gneiss voisin ont naturellement provoqué un abaissement très marqué de la température de la roche qui, par place, est de 20° inférieure à la normale. Par contre l'eau se réchauffe à mesure qu'elle descend, elle devient moins dense et tend par ce fait à remonter. Ainsi s'est établie une circulation continue, qu'on peut comparer à celle qui se produirait dans un gigantesque thermosiphon, et qui a permis aux eaux souterraines de corroder énergiquement les calcaires qu'elles traversent.

Le rapport de M. Schardt est accompagné d'un profil à travers la partie méridionale de la chaîne du Simplon, rectifié d'après les observations faites dans le tunnel jusqu'en février 1902.

M. A. ROTHPLETZ¹ a cherché à déterminer l'origine des sources ferrugineuses de Saint-Moritz et à expliquer en particulier leur teneur importante en carbonate de chaux qui étonne, étant donné que ces eaux sortent du granite.

Pour comprendre l'origine de ces sources il faut tenir compte de la tectonique compliquée de la région ; en effet, l'Engadine est traversée par le grand chevauchement du Rhæticon, qui a provoqué le recouvrement sur une vaste étendue des chaînes de l'W, par une nappe venue de l'E. La série autochthone dans cette région est formée par un complexe cristallophyllien de granite, de gneiss, de micaschistes, de marbres et de schistes métamorphiques anciens, sur lequel reposent en discordance les couches intensément disloquées du Verrucano de la Röttdolomit, du Lias et probablement du Flysch. C'est sur ces formations sédimentaires que vient chevaucher la nappe rhétique, formée de granite, de gneiss, de Sernifite et de Verrucano, le recouvrement se faisant suivant un plan peu incliné.

Après le chevauchement, un effondrement en graben s'est produit et il est probable que les zones de fracture qui déli-

¹ A. ROTHPLETZ. Ueber den Ursprung der Thermalquellen von St-Moritz. *Sitzungsber. d. math. phys. Klasse der Kgl. bayr. Akad. der Wissens.*, B. XXXII, H. 2, S. 193-207, 1902.

mitent la partie affaissée sont devenues le siège de dégagements d'acide carbonique venant de la profondeur. L'eau des sources provient vraisemblablement de la zone sédimentaire autochthone recouverte par la nappe rhétique, et sa composition résulte tout naturellement de celle des éléments de cette zone et en particulier du Rötldolomit.

D'après une étude de M. H. SCHARDT¹, les **sources de la Noiraigue** doivent débiter la totalité des eaux du synclinal des Ponts ; leur point d'émergence est déterminé par une faille transversale, qui met en contact l'Argovien de la lèvre SW et le Séquanien de la lèvre NE ; il correspond au point le plus bas où les calcaires séquaniens affleurent dans la vallée.

D'autre part, M. A. DUBOIS² a coloré à deux reprises avec de la fluorescéine les eaux qui s'engouffrent dans l'entonnoir du Voisinage à 1 km. à l'W des Ponts et a attendu la coloration aux **sources de la Noiraigue**. Lors du premier essai effectué le 4 mai 1901 la coloration n'est apparue que huit jours et douze heures plus tard à Noiraigue ; lors du second essai effectué le 26 juillet 1901, au début d'une série de violents orages succédant à une période de sécheresse, le trajet souterrain n'a duré que six jours et douze heures. Dans les deux cas la coloration n'a reparu que très affaiblie.

COURS D'EAU.

Nous devons à M. J. BRUNHES³ une étude d'ensemble sur la **genèse des marmites de géant** et sur le rôle joué par les tourbillons dans l'affouillement des eaux courantes.

Le point de départ de ce travail est un examen approfondi des cataractes ou plus exactement des rapides du Nil. Ceux-ci, occasionnés par la présence de barres transversales de roches granitiques et de grès durs, sont en effet attaqués par le fleuve d'une façon fort instructive. A la cataracte d'Assouan, le lit est semé de saillies arrondies qui, aux basses eaux, forment autant d'îlots et dont la surface très irrégul-

¹ H. SCHARDT. Conditions géologiques des sources de la Noiraigue. *Archives Genève*, t. XIII, p. 513, 514.

² A. DUBOIS. Deux essais de coloration de la Noiraigue à la fluorescéine. *Archives Genève*, t. XIII, p. 511-513.

³ J. BRUNHES. Le travail des eaux courantes, la tactique des tourbillons. *Mém. de la Soc. frib. des sc. nat. Géologie et géographie*, t. II, p. 153-224.

lière est semée de multiples marmites de géant, en partie très profondes. Celles-ci présentent presque toutes le type de marmites inachevées avec un fond relevé au milieu en une saillie conique et une dépression annulaire périphérique ; elles sont souvent éventrées latéralement ou décapitées ce qui en facilite l'étude. Le remplissage qui les comble en partie se compose essentiellement de sable fin et ne contient jamais aucune grosse pierre arrondie ou meulée. Ce fait paraît démontrer que ce n'est pas une meule, comme on l'admet généralement, mais que ce sont des graviers fins et des sables qui opèrent le creusement des marmites ; les pierres, étant d'autant plus lourdes qu'elles sont plus volumineuses, ne peuvent plus à partir de certaines dimensions être mises en mouvement par les eaux, aussi, loin d'activer l'œuvre des tourbillons, elles la ralentissent et peuvent même l'arrêter complètement en s'accumulant sur le fond.

Passant ensuite aux vallons du versant N des Alpes, M. Brunhes examine successivement les gorges de l'Aar en amont de Meiringen, celles de la Tamina et celles du Trient. Dans les gorges de l'Aar, à travers la colline du Kirchet, dont M. Lugeon a montré récemment l'âge peu ancien et le caractère épigénétique, les traces de marmites de géant sont nombreuses en particulier dans la « grosse Enge et la Nasenenge » ; certaines marmites ayant eu un diamètre plus grand que la largeur de la gorge, elles se marquent nettement sur les deux parois opposées. Lorsque plusieurs tourbillons à petit rayon ont été remplacés à un moment donné par un mouvement giratoire unique et plus ample, les marmites multiples et limitées du début se fusionnent en une seule ; inversement on peut voir de grandes marmites dont le fond est creusé de plusieurs marmites plus petites. Enfin, autant qu'on peut en juger il semble que la plupart des marmites offraient le type achevé à fond concave. Les mêmes caractères s'observent dans les anciennes gorges abandonnées de la Finstere-Schlucht et de la Trockene-Schlucht. Ainsi partout ce sont les tourbillons créateurs de marmites qui ont été le facteur essentiel du creusement du lit du fleuve.

Les gorges de la Tamina se trouvent à 5 km. au S de Ragatz au milieu des grès du Flysch ; ici encore on peut voir de nombreuses traces de marmites, dont plusieurs ont dû atteindre une très grande taille. Ces gorges, qui ont une origine identique à celles de l'Aar et qui correspondent

comme celles-ci à un tronçon épigénétique, ont par place des parois surplombantes, qui se rejoignent même en forme de voûte à la Naturbrücke entre Pfäfers et Valens. Par le fait de la nature du terrain encaissant moins favorable, les formes sont ici moins pures qu'au Kirchet ; on peut voir quelques exemples très réduits de cavernes, un phénomène qui prend un grand développement dans les gorges qui traversent des terrains fissurés.

Dans les gorges du Trient, creusées dans les schistes cristallins, les traces de marmites ne sont plus visibles que sur les parties inférieures des parois ; à partir de 5 ou 6 m. au-dessus du niveau de l'eau les formes primitives ont été rabottées par le glacier et toute la partie supérieure des parois a été démolie.

Le creusement de cette gorge remonte donc en grande partie à une époque antérieure à la dernière glaciation.

M. Brunhes décrit ensuite plusieurs gorges en voie de formation. Le Trümmelbach, qui descend des glaciers de l'Eiger et de la Jungfrau et qui se jette par une cascade dans la vallée de la Lutschine en amont de Lauterbrunnen, s'est creusé au-dessus de sa chute une gorge dans laquelle le travail des tourbillons est bien net ; l'eau y coule sur une sorte d'escalier avec des paliers séparés par des rapides ; chaque palier est en voie de recul et laisse devant lui un sillon étroit bordé par deux parois toutes marquées de vestiges de marmites. Le Dündenbach, affluent de la Kien, franchit, avant de se joindre à celle-ci, la haute falaise calcaire qui entoure la dépression de Tschingel et se creuse dans ces calcaires une gorge divisée aussi en paliers, entre lesquels les vestiges de marmites sont très abondants. Sur le bord d'un palier, duquel tombe une importante cascade, on peut voir, à côté des goulets par lesquels s'écoule la plus grande partie de l'eau, une grande cuve de 8 m. de diamètre et deux coupes plus petites, dans lesquelles s'engouffre et tourbillonne une partie du torrent. Ainsi en amont de sa chute l'eau non seulement creuse son lit et prépare le recul de la cascade, mais encore élabore sur le flanc de son lit principal une chaîne de marmites qui en se développant provoqueront l'élargissement du couloir. Du reste ce progressus de l'agrandissement du chenal par la création d'une chaîne latérale de marmites paraît être fréquent.

Si l'intervention des tourbillons dans le creusement des gorges de formation récente n'est pas plus souvent manifestée d'une façon évidente, cela tient d'abord à la nature de

certaines roches, qui sont trop peu cohérentes pour laisser aux marmites le temps de s'approfondir avant que leurs bords ne cèdent à la poussée de l'eau. Ensuite les formations tendres ou traversées par des diaclases se démolissent à mesure que le creusement s'effectue et ne peuvent donc pas conserver les formes imprimées par l'érosion tourbillonnaire. Mais si la nature du sol influe forcément sur le travail des eaux courantes, on peut admettre comme certain que le creusement dans les roches résistantes est effectué en grande partie par les tourbillons. Les chaînes de marmites se transforment en gorges étroites et profondes ; ensuite, par le fait de l'exhaussement des parois, celles-ci sont attaquées par les eaux de ruissellement, qui, en les démolissant, élargissent la partie supérieure de la gorge et y font disparaître les traces de marmites.

Il est deux cas cependant où le travail tourbillonnaire est presque nul, d'abord lorsque l'eau ne charrie pas de sable, l'outil essentiel de la formation des marmites, ensuite lorsque parmi les éléments charriés se trouve une proportion importante d'éléments grossiers qui, étant trop lourds pour être mis en mouvement par les tourbillons, encombrant les marmites et arrêtent leur approfondissement.

La constatation de l'intervention si puissante de l'érosion tourbillonnaire dans le creusement des gorges permet de laisser de côté l'hypothèse d'après laquelle ces gorges correspondraient à d'anciennes fentes élargies par l'érosion, hypothèse qui du reste s'est montrée insuffisante dans un grand nombre de cas.

M. Brunhes termine son travail par quelques considérations générales sur les vallées alpines et montre qu'aucune d'elles ne possède un profil d'équilibre régulier, mais que toutes se subdivisent en un certain nombre de tronçons, dont chacun possède un niveau de base indépendant déterminé par un obstacle. C'est à travers ces obstacles que s'opère encore actuellement le creusement de gorges étroites et profondes, qui s'approfondissent non d'une façon régulière, mais par saccades.

M. E. CHAIX¹ a fait pendant ces dernières années et dans diverses vallées une série d'observations tendant à déterminer la valeur de l'érosion postglaciaire. Il a dans ce but cherché à fixer d'une part le niveau le plus bas jusqu'auquel

¹ E. CHAIX. Erosion torrentielle postglaciaire dans quelques vallées. *Le Globe*, organe de la Soc. de géogr. de Genève, t. XLI, p. 1-12.

se voient des traces d'érosion glaciaire, d'autre part le niveau le plus élevé auquel se montrent des signes évidents d'érosion torrentielle récente. En déterminant ensuite les différences d'altitude qui séparent ces deux niveaux de celui du lit actuel du cours d'eau correspondant, il a obtenu une valeur maximum et une valeur minimum, entre lesquelles doit être comprise celle que comporte le creusement postglaciaire.

Près du pont des Houches dans la vallée de Chamonix une roche striée intacte se trouve à 8 m. seulement au-dessus de la rivière ; le peu d'importance de l'érosion postglaciaire en cet endroit peut s'expliquer par l'intervention du torrent des Houches qui, en embarrassant de ses alluvions le lit du cours d'eau principal, a ralenti le travail de celui-ci.

Dans la vallée de Bagne, M. Chaix a étudié successivement tous les points où la configuration du sol permettait des observations. Au barrage de Lavintzie entre Lourtier et Fionnay il évalue à 6 m. au maximum la valeur de l'érosion postglaciaire. Vers l'amont, au haut de la cascade de Fionnay, les stries glaciaires sont visibles jusqu'à 10 m. au-dessus du torrent. A 500 m. en amont de Fionnay, le contact entre l'érosion glaciaire et l'érosion torrentielle récente paraît être entre 13 et 18 m. ; près de la Chermontane cette limite semble être entre 17 et 20 m. Enfin au-dessous du glacier de Breney il n'existe aucune trace nette d'érosion torrentielle à partir de 5 m. au-dessus du torrent et les stries glaciaires sont visibles jusqu'à 22 m. au-dessus du cours d'eau.

En résumé, M. Chaix n'a constaté nulle part un creusement postglaciaire qui pût dépasser 22 m. et conclut que l'approfondissement des grandes vallées doit avoir exigé un temps bien plus long qu'on ne l'admet en général.

M. P. LORY¹ a signalé à la Société géologique suisse un bel exemple d'épigénie glaciaire étudié par lui dans la partie moyenne du cours du Drac.

Je crois utile de résumer ici un travail paru il y a déjà plus de deux ans, qui ne s'applique pas spécialement à la géologie de notre pays et n'est pas dû à la plume d'un de nos compatriotes, mais qui présente un grand intérêt pour tous ceux qui s'intéressent à l'action des eaux torrentielles ; je veux parler de l'étude faite par M^{me} G. VALLOT et M. J.

¹ P. LORY. Epigénie glaciaire sur le cours moyen du Drac. *Eclogæ*, vol. VII, p. 299, 300, et *Archives Genève*, t. XIV, p. 469, 470.

VALLOT¹ sur la **vitesse de circulation de l'eau dans les torrents et sous les glaciers.**

Les expériences de M^{me} Vallot et de son collègue avaient pour but de fournir une comparaison entre la vitesse des torrents à l'air libre et des torrents sous-glaciaires. Elles ont établi tout d'abord que la vitesse d'écoulement des cours d'eau augmente avec la pente jusqu'à une inclinaison de 0.03, mais qu'au delà de cette proportion toute augmentation de pente, loin d'accroître la vitesse d'écoulement, la diminue. Ce fait inattendu s'explique du reste facilement, parce que les cours d'eau qui coulent sur des pentes supérieures à 0.03, circulent non plus sur des limons, mais sur de gros galets, ou même sur un amas de blocs d'autant plus volumineux que le caractère torrentiel est plus accentué. Plus la pente est forte, plus le lit est encombré, plus le retard subi par l'eau est grand, plus les contours et les remous sont abondants et plus par conséquent la vitesse d'écoulement est ralentie.

Les expériences sur la circulation des eaux sous-glaciaires ont été faites à l'aide de la fluorescéine. En colorant successivement les eaux du torrent du Queyzet sous la Mer de Glace et celles du Grand Moulin situé à environ 4 km. en amont, et en observant la sortie de la coloration aux sources de l'Arveyron, les auteurs ont pu comparer la circulation des eaux sous-glaciaires dans le tronçon inférieur de la Mer de Glace qui est à forte pente (410 m. de dénivellation pour 770 m. de distance horizontale) et dans un tronçon supérieur à inclinaison faible (430 m. de dénivellation pour 2900 m. de distance horizontale). Ces données comparatives leur ont permis d'établir d'abord que l'influence de la pente reste la même pour les torrents sous-glaciaires que pour les torrents à l'air libre, ensuite que les premiers ont une vitesse d'écoulement moindre que les seconds, la proportion étant égale à 1 : 1.8. Les chiffres obtenus par M^{me} Vallot correspondent du reste assez exactement à ceux que M. Forel avait donné à la suite de ses observations sur le glacier du Rhône. Le fait que la diminution de vitesse des torrents sous-glaciaires est en somme peu considérable démontre l'absence de bassins intérieurs ; elle semble indiquer d'autre part l'absence de toute moraine profonde, celle-ci devant, si elle existait, entraver beaucoup la circulation de l'eau. Il faut

¹ M^{me} G. VALLOT et J. VALLOT. Expériences sur la vitesse de circulation de l'eau dans les torrents et sous les glaciers. *Annales de l'Observatoire météor., phys. et glac. du Mont Blanc*, t. IV, 1900.

admettre en outre l'existence d'espaces libres entre le sous-sol et la glace, qui ne reposerait que sur les parties saillantes et laisserait les eaux circuler et affouiller dans les dépressions.

M. G. RITTER¹, le constructeur du barrage de Maigrauge près de Fribourg, a étudié les **phénomènes d'érosion et de transport opérés par la Sarine** dans la région des travaux. Il a décrit à nouveau les belles marmites de géant creusées dans le canal de décharge, qui avaient déjà attiré l'attention de M. Brunhes, et a distingué les marmites à fond saillant, les marmites à fond concave et les marmites en chapelet reliées les unes aux autres.

Les graviers charriés par la Sarine forment en amont du barrage une terrasse envahissante qui a déjà atteint le milieu du lac créé par les travaux et l'auteur évalue la quantité annuelle de ces apports à 11 000 ou 12 000 m³ par an.

L'eau de la nappe phréatique de la rivière est devenue peu à peu de plus en plus ferrugineuse par suite de l'extension du contact des eaux souterraines qui l'alimentent avec le conglomérat ferrugineux qui recouvre ici la Mollasse.

Nous devons à M. H. WALTHER² de Cassel une étude détaillée des **rapides du Rhin à Laufenbourg**. L'auteur, après avoir fait un levé topographique très précis du cours et des rives du fleuve sur ce point, examine la constitution géologique des terrains encaissants. Le lit est creusé dans un gneiss à biotite appartenant à la série cristallophyllienne de la Forêt-Noire, présentant une schistosité dirigée SW-NE avec un plongement de 40° à 60° vers le NW, et traversé par de nombreux filons de roches granitiques. Le Trias couvre en discordance le gneiss sur la rive gauche, tandis qu'il a été enlevé par l'érosion au N du fleuve. Le Deckenschotter forme au N de Laufenbourg une belle terrasse à une altitude de 480-485 m. avec une pente moyenne de 4.6 ‰; les alluvions des Hautes Terrasses ont 100 m. d'épaisseur et s'élèvent jusqu'à 380-385 m.; elles sont couvertes de Loess qui dissimule les formes régulières de la terrasse; leur inclinaison moyenne est de 1.2 ‰. Les alluvions des Basses Terrasses prennent une extension horizontale

¹ G. RITTER. Considérations techniques géologiques et hydrologiques relatives au barrage de la Sarine à Fribourg. *Archives Genève*, t. XIV, p. 180.

² H. WALTHER. Ueber die Stromschnelle von Laufenbourg. *Vierteljahrss. der naturf. Gesel.*, Zurich, 1902, 46. Jahrg., H. 3, S. 231-263.

considérable ; elles sont épaisses d'environ 40 à 50 m. et leur surface est à 325 m., soit 30 m. au-dessus du niveau du Rhin ; leur inclinaison est de 1.26 ‰, soit presque exactement la même que celle du fleuve actuel.

La forme particulière du lit du Rhin à Laufenbourg est sans aucun doute la conséquence d'un déplacement ; avant le dépôt des Basses Terrasses le fleuve coulait plus au S et ce n'est qu'après que l'ancien lit avec tout le fond de la vallée eurent été comblés par le dépôt de ces 30 à 40 m. de graviers que le Rhin, s'établissant suivant son cours actuel, y a recreusé les alluvions qu'il venait de déposer, pour entamer ensuite le gneiss sous-jacent. Le lit ancien a pu être déterminé grâce à un forage fait en 1892 près de la gare de Gross Laufenbourg, qui a permis de constater sur ce point une tranchée dans le gneiss de plus de 33 m. de profondeur. Dans cette tranchée comblée par les alluvions, l'eau se maintient à un niveau constamment égal à celui du Rhin.

RUISSELLEMENT.

A propos des **lapiés du Jura français**, M. L. ROLLIER¹ fait remarquer en premier lieu que ceux-ci sont surtout développés dans les parties de la chaîne qui n'ont pas été couvertes par les glaciers et conclut de ce fait que l'origine du phénomène est dûe à une érosion pluviale.

Il décrit ensuite un type spécial de lapiés qu'il a observé dans la région d'Andelot, en particulier vers les carrières de cette localité. La surface du sol est formée ici par les couches presque horizontales du Cornbrasc (oolithe) et du Forest Marble (calcaire blanc) reposant sur l'oolithe miliaire à concrétions siliceuses. Or, les deux niveaux supérieurs sont découpés par un réseau très compliqué de rainures en une infinité de tables de forme irrégulièrement lobée. Les rainures ont une largeur variable pouvant atteindre 1 m. ; elles entament généralement l'oolithe miliaire, mais sont en partie comblées par une terre brune avec des chailles siliceuses. Cette terre paraît résulter de la lévigation des formations oolithiques, du Callovien et peut-être de l'Oxfordien ; les chailles ne sont pas autre chose que les concrétions de l'oolithe miliaire. En tout cas l'absence complète dans ces rainures des galets ordinaires de la moraine empêche d'assimiler ces remplissages aux formations glaciaires.

¹ L. ROLLIER. Les lapiés dans le Jura français. *Feuille des jeunes Nat.*, IV^e série, 32^e année, 1^{er} fév. 1902.

LACS.

MM. BRÜCKNER et GROLL¹ ont déposé le 23 août 1901 une caisse métallique sur le fond du lac d'Æschinen, dans le but de déterminer la valeur de la sédimentation vaseuse. Ayant retiré cette caisse le 29 octobre de la même année, les auteurs y ont constaté une couche de vase humide de 1^{mm}5 seulement. La quantité remarquablement faible de ce dépôt provient vraisemblablement du fait qu'une partie importante des boues apportées dans le lac par les torrents glaciaires est dissoute à mesure.

Nous devons à M. S. BLUMER² une étude d'ensemble sur l'origine des lacs glaronnais et sur leurs caractères topographiques et géologiques. L'auteur distingue les lacs compris dans les chaînes calcaires ou schisteuses et ceux qui sont creusés dans le Verrucano. Parmi les premiers il décrit en détails les suivants :

1^o Le Thalsee et le lac de Spannegg sont compris dans une vallée sans écoulement qui suit le versant oriental du Mürtschenstock. Le premier occupe le fond d'une grande cuvette elliptique ; sa plus grande profondeur, qui ne dépasse pas 2^m8, se trouve près de son bord occidental ; il est alimenté par des sources en partie sous-lacustres qui sortent des éboulis. Le bassin du lac est entièrement creusé dans le calcaire du Malm, et sa formation n'est certainement pas due à un barrage morainique, quoique vers le N on puisse observer soit de l'argile à blocs, soit des stries glaciaires. L'origine doit s'expliquer par l'action dissolvante des eaux qui, en s'insinuant dans une fissure de la roche, ont d'abord élargi cette fissure en entonnoir, puis ont obturé le fond de la dépression ainsi formée par des dépôts de boue imperméables. Le Thalsee est donc un lac de Karst typique, quand bien même un glacier a probablement contribué à donner à l'ensemble de la vallée sa forme en cuvette et que le travail d'élargissement du bassin a dû se continuer sous le glacier.

Le lac de Spannegg (1458 m.) occupe le fond d'une sorte de terrasse concave, qui constitue l'étage supérieur de la même vallée. De forme elliptique, il a des bords plus inclinés

¹ E. BRÜCKNER. Bericht der Fluss-Kommission für 1901-1902. *Actes Soc. helv. des sc. nat.*, 1902, p. 219-221.

² S. BLUMER. Zur Entstehung der glarnerischen Alpenseen. *Eclogæ*, vol. VII, p. 203-244.

que le Thalsee et atteint déjà à une petite distance de ses rives une profondeur de 3 à 4 m.; son fond est plat sur une grande étendue. L'alimentation se fait par le moyen de deux ruisseaux venant du S et de sources sous-lacustres; il n'y a pas d'écoulement superficiel. Ce petit lac est évidemment aussi un entonnoir de Karst en partie comblé par des dépôts argileux; sa formation doit avoir eu lieu, comme celle du Thalsee, en partie avant, en partie pendant la dernière glaciation, et l'on peut évaluer à 40 ou 50 m. la valeur totale du creusement opéré. L'auteur réfute ici soit l'explication de Mœsch, qui voit dans ces bassins deux cuvettes creusées par des chutes d'eau, soit celle de M. Rothpletz, qui leur attribue une origine tectonique en relation avec un soulèvement du Mürtschenstock.

2° Les lacs d'Oberblegi et de Guppen sont situés sur le flanc E du Glärnisch dans deux vallons longitudinaux creusés dans les argiles toarciennes et s'abaissant vers le S. Alimentés par les eaux de fusion des névés qui les dominent, ils n'ont pas d'écoulement superficiel, leurs eaux se perdant dans les fissures du Lias. L'origine absolument semblable de ces deux lacs s'explique comme suit :

Le flanc du Glärnisch est formé dans cette partie par les couches du Lias plongeant vers l'intérieur de la montagne; au niveau des lacs, par suite de la faible résistance des marnes toarciennes, s'est formée une terrasse d'érosion, qui s'est transformée bientôt en un vallon, dont les eaux s'écoulaient vers le S. L'érosion ayant finalement supprimé par places les marnes toarciennes, les eaux se sont engouffrées dans les fissures du Lias calcaire, qu'elles ont élargies en forme d'entonnoirs; puis les cavités cratériformes disposées sur un même réseau de fissures en s'agrandissant se sont confondues en une dépression unique. C'est alors que la région fut envahie par les névés, transformée en un véritable Kahr et couverte de dépôts morainiques qui, en bouchant les fissures, permirent la stagnation de l'eau dans les cuvettes précédemment formées. Les deux lacs en question ne sont donc qu'une modification des entonnoirs qu'on observe en grand nombre à la surface du Lias calcaire et qui alimentent les sources du flanc occidental de la vallée de la Linth.

3° Le lac de Mutton (2442 m.) est situé dans le Flysch entre le Ruchi et le Nüschenstock; à première vue on pourrait le prendre pour un lac de Kahr; en réalité il semble que la vallée dans laquelle il se trouve a été créée essentiellement par la désagrégation atmosphérique et par l'érosion torren-

tielle et que le bassin lacustre lui-même est dû à l'enfoncement du Flysch dans une caverne du calcaire nummulitique sous-jacent. Ce n'est qu'après la formation de cette cuvette d'effondrement que le glacier a envahi la vallée et l'a transformée en un Kahr. Le Muttensee possède un émissaire, mais celui-ci ne tarde pas à disparaître dans un entonnoir.

4° Le petit lac de Wildmaad, au sommet de la Kühbodenalp au-dessus d'Elm, est aussi un entonnoir formé dans le Flysch.

Dans le domaine du Verrucano, M. Blumer a étudié les lacs suivants :

5° Les trois lacs de Murg se succèdent dans la partie tout à fait supérieure de la vallée de même nom. Le lac supérieur (1825 m.), qui est le plus important, a 500 m. de côté et une profondeur maximum de 23 m. ; ses bords sont abrupts partout sauf sur le bord oriental. Il est séparé du lac moyen par un seuil peu élevé de Verrucano, traversé par trois couloirs d'érosion, dont l'un sert encore de passage à l'émissaire ; ce seuil est moutonné et strié par le glacier de telle façon qu'on peut admettre que son relief est antérieur à l'arrivée de ce dernier, dont la direction de marche devait être S-N.

Le lac moyen est de 10 m. plus bas que le précédent ; son fond dessine une cuvette régulière avec une profondeur maximum de 13^m5. Il est bordé au N par une moraine et entouré à l'E et au N par des roches moutonnées coupées de petites tranchées d'érosion dont l'orientation SW-NE est parallèle à la direction des couches. L'émissaire actuel coule au contraire directement vers l'E et se jette par une chute de 50 m. sur le palier suivant de la vallée.

C'est sur ce dernier que se trouve le lac inférieur (1673 m.). Celui-ci atteint sa plus grande profondeur dans sa partie SE (9 m.), dont les bords sont abrupts ; une petite île en occupe à peu près le milieu. En aval les roches sont polies et striées et le seuil de la vallée est couvert de matériaux morainiques.

Les trois paliers correspondant aux trois lacs sont incontestablement trois tronçons longitudinaux orientés SW-NE, tandis qu'entre les lacs le torrent coule obliquement de l'W à l'E. Les tronçons intermédiaires entre les paliers, comme les paliers eux-mêmes doivent être antérieurs à la dernière glaciation. Nous avons en somme affaire ici à trois paliers de Kahr creusés chacun en une dépression peu profonde et

d'aspect récent. Tandis que le seuil du lac supérieur est formé exclusivement par la roche nue, ceux des deux autres lacs sont en partie couverts de moraines et il ne serait pas impossible que celles-ci eussent constitué une sorte de barrage. Pourtant l'auteur considère comme beaucoup plus probable que les bassins des deux lacs inférieurs sont aussi creusés dans le rocher ; il explique comme suit la genèse de la vallée avec sa forme actuelle :

Le principal creusement de la vallée est préglaciaire et est le fait de l'érosion torrentielle. Lors de la première glaciation la vallée a été complètement couverte, puis le glacier s'est retiré par étapes et son front a stationné sur diverses lignes. Chacune de celles-ci, ayant marqué pendant une durée plus ou moins longue la limite supérieure de l'érosion torrentielle, correspond à un abrupt séparant deux paliers superposés ; ainsi s'est formé une sorte d'escalier dont les marches sont inégalement hautes et larges, et le travail d'érosion s'est prolongé jusqu'au retour des glaciers. Lors de la dernière glaciation le fonds de la vallée a été moutonné et strié, et en même temps chaque palier a été creusé en cuvette, soit par suite de la convergence de plusieurs glaciers sur un même point et de l'exagération de la pression et de la friction en cet endroit, comme pour le lac supérieur et probablement le lac moyen, soit simplement par suite de la pente très forte de l'abrupt en amont comme pour le lac inférieur. Enfin, lors du retrait définitif du glacier, se sont déposées les moraines abondantes qui jonchent le fond de la vallée.

6° Le lac de Milchspüler occupe sur le flanc NW du Kärpf et à 2202 m. le fond d'une cuvette irrégulièrement circulaire près du haut de la vallée du Diesbach. C'est un lac de Kahr typique creusé dans le Verrucano, dont la surface est partout moutonnée. Du côté aval existent trois couloirs d'érosion, dont l'un sert encore au passage de l'émissaire, tandis que les deux autres sont obstrués par des moraines. Du même côté le fond du lac, très peu profond, est couvert de dépôts glaciaires.

Dans la même vallée, environ 200 m. plus bas, se trouvent les trois petits lacs d'Engi, qui ont été créés tous trois par des barrages morainiques ; le plus bas des trois, qui est aussi le plus profond, paraît pourtant être en partie creusé dans le rocher.

7° Le plateau de Sernifite de la Wildmaad, au NE du Kärpf, porte plusieurs petits lacs qui occupent des dépres-

sions formées évidemment sous le névé et non encore modifiées par l'érosion aqueuse.

Il résulte des observations qui précèdent que la formation des lacs étudiés par M. Blumer est en relation avec l'extension des glaciers ; mais, tandis que c'est l'eau qui a joué le rôle prépondérant dans la création des bassins lacustres des chaînes calcaires et que les glaciers n'y ont apporté que des modifications secondaires, ce sont au contraire les glaciers qui ont donné naissance aux cuvettes des lacs dans le Verrucano, soit en creusant la roche, soit en établissant des barrages de moraine.

Les lacs des chaînes calcaires sont situés en général sur des terrasses formées par l'érosion torrentielle attaquant des couches tendres ; leurs bassins ont commencé à se creuser lorsque les eaux, après avoir déblayé des formations marneuses, ont atteint les calcaires fissurés sous-jacents, dans lesquels elles se sont infiltrées. Formés pendant l'époque glaciaire les lacs alpins sont en voie de décroissance ; ils sont comblés peu à peu par les matériaux apportés par les eaux courantes et beaucoup d'entre eux ont déjà été transformés en des combes marécageuses. Ce comblement est en général d'autant plus avancé que les lacs étaient situés plus bas et qu'ils ont été par conséquent découverts plus tôt par le recul des névés.

Quant aux lacs glaronnais creusés dans le Verrucano, leurs bassins occupent toujours le fond d'une ancienne vallée, creusée à l'époque préglaciaire par les eaux courantes, élargie ensuite en U par les glaciers de la première glaciation, puis transformée en un Kahr étagé pendant le retrait interglaciaire. Lors de la dernière glaciation les paliers superposés du Kahr ont été au moins en partie creusés en forme de cuvette ; puis, pendant le retrait définitif, des moraines ont couvert par places le fond de la vallée, obturant souvent les canaux d'écoulement interglaciaires et modifiant le cours du torrent principal.

M. S. DE PERROT¹ a continué pendant l'année 1901 ses observations sur le **niveau des lacs de Neuchâtel, Bienne et Morat**. Le niveau du lac de Bienne a été à dix reprises et pendant trente-trois jours en tout plus haut que celui du lac de Neuchâtel et cinq fois pendant dix-huit jours en tout plus haut que celui du lac de Morat ; il a oscillé entre 428.68 et

¹ S. DE PERROT. Résumé des observations hydrométriques faites dans le canton de Neuchâtel en 1901. *Archives Genève*, t. XIV, p. 173.

431.14, avec une altitude moyenne de 429.43 m., soit 0.17 de plus qu'en 1900. Le niveau du lac de Neuchâtel a oscillé entre 428.88 et 430.92 avec une altitude moyenne de 429.69, soit 0.21 de plus qu'en 1900. Le niveau du lac de Morat a oscillé entre 428.99 et 431.07, avec une altitude moyenne de 429.80, soit 0.18 de plus qu'en 1900. Il y a donc une tendance au relèvement du niveau des trois lacs.

M. E. SARASIN¹ a exposé à l'occasion de la réunion de la Société helvétique des sciences naturelles à Genève l'histoire de la théorie des **mouvements ondulatoires des lacs** et les principes qui sont actuellement à la base des études limnimétriques.

GLACIERS ET NÉVÉS.

Variations des glaciers. — Les mesures faites en 1901 par MM. Held et Wild et collationnées par M. HAGENBACH-BISCHOFF² dans le rapport annuel de la commission des glaciers ont montré que le **glacier du Rhône** a subi de 1900 à 1901 une diminution normale; son épaisseur est partout réduite et son front s'est retiré en moyenne de 15^m5 découvrant un espace de 6760 m².

Le rapport que rédigent chaque année MM. F.-A. FOREL, M. LUGEON et E. MURET³ sur les **variations des glaciers des Alpes suisses** se divise cette fois-ci en trois parties distinctes: un premier article dû à M. Forel traite de la durée de la période des glaciers, un second écrit par M. Lugeon concerne l'enneigement en 1901, enfin le troisième rédigé par MM. Lugeon et Muret comprend la chronique des glaciers pour la même année.

M. Forel, sceptique sur la réalité du cycle régulier avec une périodicité de trois crues par siècle admis par M. Brückner pour les variations des glaciers, a collationné toutes les données que l'on possède sur les crues et les décrues glaciaires dans les massifs du Pelvoux et du Mont Blanc, dans les Alpes valaisannes et bernoises, dans les Alpes autrichiennes et dans le Caucase. En considérant comme période la durée qui sépare entre eux deux maxima consécutifs, il a pu déterminer

¹ E. SARASIN. *L'histoire de la théorie des seiches*. Discours d'ouverture de la 85^e session annuelle de la Soc. helv. des sc. nat., à Genève.

² HAGENBACH-BISCHOFF. Bericht der Gletscherkommission. *Actes Soc. helv. des sc. nat.*, 1902, p. 222-227.

³ F.-A. FOREL, M. LUGEON et E. MURET. Les variations périodiques des glaciers des Alpes. *Annuaire du Club-Alpin suisse*, 36^e année.

l'existence de 7 périodes ayant duré de 20 à 30 ans, 11 de 30 à 40 ans, 6 de 40 à 50 ans et 5 de 50 à 60 ans. La moyenne arithmétique de ces chiffres donne une durée de 39 années, un peu supérieure à celle admise par M. Brückner. Mais surtout les irrégularités d'allure très grandes que montrent les divers glaciers et les différences de durée considérables que présentent les périodes successives d'un même glacier excluent la possibilité d'un cycle régulier. Le fait seul que la majorité des glaciers alpins sont en décroissance continue depuis environ 50 ans est contraire à l'hypothèse de M. Brückner.

Grâce aux renseignements recueillis en 1901 par M. Lugeon, nous savons que dans les massifs de la Tour Sallière et du Balmhorn l'enneigement était alors nettement régressif. Au Gothard, où M. Koenigsberger de Fribourg en Brisgau a fait de nombreuses observations, les petits glaciers et les névés inférieurs sont en recul manifeste, tandis que l'enneigement gagne dans les parties supérieures.

Quant à l'étude d'ensemble sur les variations des glaciers suisses en 1901, elle a porté sur 87 glaciers. Dans les Alpes valaisannes sur 32 glaciers observés, un seul, celui de Boveyre, est en crue certaine et encore cette crue accidentelle est-elle due à l'éboulement sur la surface du glacier de Boveyre d'une partie d'un des glaciers suspendus qui le dominent ; le glacier de Tzeudet présente une allure incertaine, 5 glaciers sont en décrue probable, tous les autres sont en décrue certaine. Dans les Alpes vaudoises, les 8 glaciers observés montrent une tendance à la décrue, mais si peu accentuée qu'on peut les considérer comme stationnaires. Dans les Alpes bernoises, sur 12 glaciers observés, 8 sont en décrue certaine ; les glaciers de Stein, de l'Eiger, d'Ober Grindelwald, de Tschingel, sont à peu près stationnaires. Dans le bassin de la Reuss, la décrue a été constatée d'une façon certaine pour les 7 glaciers observés. Dans le bassin de la Linth, les glaciers de Biferten et des Clarides sont en décroissance et dans le bassin du Rhin, 10 glaciers sur 12 sont en retrait bien marqué ; ceux du Pitz d'Err et du Paradies sont à peu près stationnaires. Dans les bassins de l'Inn, de l'Adda et du Tessin la décrue paraît être générale.

Les mêmes renseignements sont reproduits dans le rapport général de MM. S. FINSTERWALDER et E. MURET¹ sur les

¹ S. FINSTERWALD et E. MURET. Les variations périodiques des glaciers. VII^e Rapport pour 1901. *Archives Genève*, t. XIV, p. 282-302.

variations en 1901 des glaciers en général. Ce rapport nous montre en outre que la tendance à la décrue générale existe aussi dans les Alpes françaises, italiennes et autrichiennes, ainsi qu'au Caucase.

En se basant sur une aquarelle peinte en 1780 par C. Hackert et représentant le massif du Mont Blanc, M. F.-A. FOREL¹ a pu établir qu'à cette époque les glaciers de ce massif présentaient un maximum d'extension ; le glacier d'Argentière descendait jusqu'à 50 m. de l'Arve et le glacier des Bois s'étendait jusque tout près des chalets du même nom.

C'est ici le lieu de rendre compte un peu tardivement des expériences fort instructives que M. J. VALLOT² a poursuivies de 1891 à 1899 sur **les variations de niveau et la vitesse d'écoulement de la Mer de Glace**. Ce travail, basé sur une triangulation très précise des abords du glacier, peut en effet servir de modèle par le soin et la méthode avec lesquels ont été faites les nombreuses observations qu'il comporte.

La Mer de Glace se divise transversalement en deux parties très différentes : la veine blanche qui est formée en grande partie par le glacier du Géant et qui est caractérisée par la pureté de sa glace, et la veine noire qui se compose des glaciers des Périades, de Leschaux et de Talèfre et dont la surface est couverte de moraines abondantes. La veine blanche subit une ablation estivale double de celle de la veine noire ; d'autre part, si les variations de niveau se correspondent dans le temps d'une veine à l'autre, elles sont toujours plus marquées sur la veine blanche que sur la veine noire.

L'ablation estivale (du 1^{er} juillet au 1^{er} octobre), ainsi que les variations annuelles de niveau augmentent à mesure que l'altitude diminue. La fusion ne paraît du reste pas être affectée d'une façon appréciable par les agents météorologiques, la pluie fondant la glace aussi activement que le soleil.

La vitesse horizontale du glacier varie selon les points du profil longitudinal d'après la largeur, la profondeur et la pente du lit sur chaque point ; une augmentation de pente accélère la vitesse horizontale, mais dans une proportion

¹ F.-A. FOREL. L'extension des glaciers du Mont Blanc en 1780. *Bull. Soc. vaud. des sc. nat.*, t. XXXVIII. C. R. de la séance du 8 janv. 1902.

² J. VALLOT. Expériences sur la marche et les variations de la Mer de Glace. *Annales de l'Observatoire météor. phys. et glac. du Mont Blanc*, t. IV, 1900.

très faible ; par contre la composante verticale de la vitesse varie proportionnellement à la pente. L'influence des saisons sur la vitesse de marche est nulle ou en tout cas très faible ; par contre toute augmentation d'épaisseur cause une accélération proportionnelle de la vitesse.

Dans le profil transversal les différents points de la zone médiane marchent sur une grande largeur presque parallèlement et avec une vitesse sensiblement égale ; vers les bords la vitesse diminue rapidement jusqu'à devenir six fois moins rapide qu'au milieu ; en même temps les parties marginales divergent vers les bords d'autant plus que ceux-ci sont plus rapprochés. Ainsi la courbe d'avancement d'un profil transversal n'est pas une parabole comme on l'admet généralement. Le bombement du milieu du glacier résulte de l'affaissement des parties marginales causé par la fusion de la glace, d'autant plus forte relativement que la vitesse de ces parties est plus ralentie par rapport à celle du milieu.

M. Vallot, tout en considérant ses expériences sur la marche des glaciers en été et en hiver comme non encore absolument concluantes, montre pourtant que la constatation de l'influence minime exercée sur cette marche par les saisons doit faire tomber la théorie de l'intervention dans la progression des glaciers de l'infiltration et du regel de l'eau dans la glace, ainsi que toute autre hypothèse qui s'appuierait sur une action calorique quelconque pour expliquer le cheminement de la glace. D'autre part, le fait que la plus grande partie du glacier avance avec une vitesse approximativement égale, le ralentissement se produisant brusquement dans le voisinage immédiat du fond et des bords, ne permet pas d'assimiler le mouvement de la glace à celui d'un corps visqueux abandonné sur une pente, d'autant moins qu'aucune partie du glacier ne reste immobile, attachée au sol encaissant.

Après un excès d'humidité, se prolongeant sur plusieurs années et provoquant un gonflement des névés, les glaciers se renfleront à leur tour d'abord vers leur naissance, puis progressivement toujours plus près de leur front ; leur surface sera parcourue par une sorte de vague, qui atteindra leur extrémité d'autant plus tard que leur longueur sera plus grande. Mais l'observation a montré qu'il existe un autre type de vague, qui se propage de l'amont vers l'aval avec une rapidité très supérieure à la vitesse de marche du glacier ; sur la Mer de Glace ces vagues mettent cinq ans à parcourir une distance que la glace ne franchit qu'en vingt-cinq

ou trente ans. Ces oscillations proviennent très probablement de variations dans la poussée des parties postérieures sur les parties antérieures; si l'épaisseur des névés augmente, ils pressent plus fortement sur les glaciers émissaires qui se renflent, et ce bombement se transmet de proche en proche à la façon d'une vague jusqu'à la région frontale.

On peut conclure de l'ensemble des observations de M. Vallot que la progression des glaciers est causée par le glissement de la masse sous l'action de la pente du lit aidée par la poussée des parties postérieures. Ainsi la pesanteur paraît être seule en jeu à l'exclusion de toute action calorique.

M. CH. RABOT¹, dans une étude générale sur les **variations des glaciers**, distingue, comme l'a fait M. Forel, les variations primaires, qui ont un caractère général pour toute une région et dont la durée paraît dépasser cinquante ans, et les variations secondaires, qui affectent isolément certains glaciers et qui ont, soit une faible amplitude, soit une courte durée.

En se basant sur des données historiques, on peut admettre une crue primaire dans les Alpes à la fin du seizième siècle, suivie d'une décrue primaire pendant la première partie du dix-septième siècle. La crue admise par M. Richter entre 1630 et 1640 est loin d'être démontrée; si elle s'est réellement produite, elle ne peut être qu'une crue secondaire. Une nouvelle crue primaire s'étend de 1660 à 1720. Vers 1740 une crue secondaire affecte certains glaciers, mais les deux premiers tiers du dix-huitième siècle semblent correspondre à une période de grand minimum. Ensuite de nombreux documents indiquent l'existence d'une crue de 1760 à 1780, qui a été suivie par une décrue probablement secondaire. Vers 1814, nouveau mouvement en avant primaire des glaciers, qui se poursuit jusque vers 1855-1860, avec une interruption momentanée entre 1830 et 1840 due à une décrue secondaire. Depuis 1855-1860, les glaciers subissent une décrue primaire qui dure encore et qui a été suspendue vers 1875 par un mouvement en sens contraire.

La grande crue qui a affecté les glaciers alpins de la fin du dix-huitième siècle jusque vers 1860 s'est manifestée clairement aussi dans le N, en particulier au Spitzberg et en Islande. Il s'est produit d'autre part un mouvement positif en

¹ CH. RABOT. Essai de chronologie des variations glaciaires. *Archives Genève*, t. XIV, p. 133-150.

Islande et en Norwège pendant la première moitié du dix-huitième siècle. Enfin, à partir du début du dix-neuvième siècle une décrue primaire s'établit dans tout le N de l'Europe pour durer jusqu'à nos jours.

Ainsi on peut admettre pour les Alpes comme pour le N de l'Europe une variation primaire positive entre 1700 et 1855, suivie d'une variation négative qui dure encore ; ces variations ont commencé plus tôt dans le N que dans le centre de l'Europe. Il est facile de démontrer par l'étude des moraines correspondant à cette grande crue de la fin du dix-huitième siècle qu'elle correspond soit dans le N, soit dans les Alpes à la plus grande extension qu'aient prise les glaciers dans la période actuelle.

Avalanches. — A la suite de nouvelles observations dans le domaine de l'**avalanche du glacier de Rossboden** (Fletschhorn), M. H. SCHARDT¹ a reconnu d'une façon certaine que la chute de glace a été provoquée par la rupture de la roche sous-jacente ; la niche d'arrachement est très nette et les chutes de pierres se sont continuées longtemps après la catastrophe.

Ce qui frappe dans l'avalanche de Rossboden, c'est le faible volume de la masse initiale (environ 300 000 m³ de roche et 500 000 m³ de glace), par rapport à la masse totale qui a couvert le Sengboden et le vallon du Krummbach (environ 5 000 000 m³). Ainsi la plus grande partie de l'avalanche a été formée par de la neige et des moraines, qui couvraient le glacier inférieur de Rossboden et qui ont été entraînées par l'éboulement de roche et de glace tombé de plus haut.

L'avalanche s'est divisée par suite d'une courbe du glacier en deux parties, la principale suivant le glacier, l'autre débordant par dessus la moraine latérale du côté N et recouvrant le pâturage de Grieseren ; ces deux parties se sont réunies de nouveau au Sengboden. La gerbe latérale de Grieseren a été accompagnée d'un effet pneumatique puissant.

Structure rubannée. — M. H. HESS² a fait une série d'expériences en vue de rechercher s'il existe une relation entre

¹ H. SCHARDT. Sur l'avalanche du glacier de Rossboden. *C. R. des travaux présentés à la 85^e session de la Soc. helv. des sc. nat.*, 1902, p. 90-94. Voir aussi *Archives Genève*, t. XIV, p. 470 et *Eclogæ*, vol. VII, p. 347.

² H. HESS. Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung der Gletscher. *Neues Jahrbuch für Min. Geol. und Pal.*, 1902, p. 23-34.

la stratification des névés et la structure rubannée des glaciers. En comprimant des tablettes de cire empilées et diversément colorées dans un moule percé d'une ouverture, il a obtenu une sorte de langue de cire, comparable par sa forme à un glacier et dans laquelle les couches correspondant aux tablettes primitives avaient pris la forme d'une cuiller avec des bords relevés en avant et sur les côtés. Cette disposition toute semblable à celle que prennent les rubans du glacier permet de supposer que ceux-ci ne sont pas autre chose que des strates primitives déformées par la pression. Cette manière de voir est du reste confirmée par le fait que, dans les cas de confluence de plusieurs glaciers, chacune des parties du glacier inférieur qui correspond à un des glaciers confluents possède une structure rubannée indépendante. Les exemples cités par Tyndall où les strates sont censées couper les rubans ne paraissent pas absolument probants et M. Hess croit que ce que Tyndall a pris pour des strates restées horizontales devait être en réalité d'anciennes crevasses fermées, puis couchées par le redressement de la glace ; dans ce cas il serait tout naturel que ces plans coupassent les rubans, c'est-à-dire des strates déformées.

L'auteur cherche ensuite à démontrer que la structure rubannée n'a rien à voir avec des mouvements relatifs des diverses parties du glacier ; si en effet cette disposition était en relation avec des inégalités de vitesse entre les diverses régions de la glace, chaque partie d'un glacier composé correspondant à un des glaciers confluents devrait se comporter d'une façon indépendante pour la courbe d'avancement comme pour la structure rubannée ; or l'on sait au contraire que la courbe d'avancement reste également régulière, qu'un glacier soit simple ou qu'il soit composé.

M. H. CRAMMER¹ est arrivé tout à fait indépendamment de M. Hess à considérer la structure rubannée comme le résultat du laminage des strates profondes du névé, les pressions qui agissent ici venant soit du poids de la neige superposée, soit des efforts qu'implique le mouvement en avant. Par contre, après avoir étudié les glaciers de l'Ëtzthal, il s'est convaincu que les surfaces des strates jouent, contrairement à l'opinion de M. Hess, un rôle important dans le mouvement des glaciers, fonctionnant à l'occasion comme véritables plans de glissement. Ces surfaces sont en effet tou-

¹ H. CRAMMER. Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Blätterung und über die Bewegung der Gletscher. *Centralblatt f. Min. Geol. u. Pal.*, 1902, p. 103-107.

jours marquées par la présence plus ou moins abondante de poussières et autres matières étrangères qui empêchent les cristaux de glace de traverser d'une couche à l'autre ; elles représentent donc des zones de moindre résistance. Or, le mouvement des glaciers exigeant des déplacements relatifs de leurs différentes parties, ces déplacements devront logiquement se faire suivant les plans de moindre cohésion, c'est-à-dire les surfaces de strates.

M. HESS¹, reprenant dans une seconde note l'étude de la structure rubannée, explique que, si celle-ci est en général particulièrement visible au bas des cataractes de glacier, cela vient du fait que, l'ablation augmentant rapidement avec la diminution d'altitude, la surface du glacier coupe avec un angle toujours plus grand le plan de stratification de celui-ci et que par conséquent les surfaces de strates apparaissent toujours plus rapprochées les unes des autres.

Ensuite l'auteur maintient sa manière de voir sur la non intervention des surfaces de strates dans le mouvement de la glace en considérant que ces surfaces, loin d'être des zones de moindre résistance, sont au contraire, par le fait des poussières qui s'y trouvent, des zones de friction relativement forte. De plus, ces éléments étrangers sont dans la règle enveloppés complètement, soit comme particules isolées, soit comme petits amas, par les grains du névé et ne peuvent pas jouer le rôle que leur attribue M. Crammer. Cette manière de voir est basée sur de nombreuses observations faites sur les glaciers, ainsi que sur une série d'expériences de laboratoire destinées à déterminer l'influence qu'exercent sur la plasticité de la glace soit les variations de température, soit l'interposition de matières étrangères. Ces expériences ont démontré que les variations de température n'ont qu'un faible effet sur la plasticité de la glace et que d'autre part les zones rendues impures par la présence de poussière ou de sable ne deviennent jamais des surfaces de glissement.

Action calorique de la neige. — Je crois utile de donner ici quelques renseignements sur l'influence exercée par la neige sur la température de l'air et du sol, tirés d'une série d'expériences faites à Buns (Jura bâlois), par M. le curé W. BÜHRER² pendant les hivers 1893-94, 1894-95 et 1895-96.

¹ H. HESS. Einiges über Gletscher. *Centralblatt f. Min. Geol. u. Pal.*, 1902, p. 225-231.

² W. BÜHRER. Einfluss der Schneedecke auf die Temperatur der Luft und der Erdoberfläche. *Thätigkeitsbericht der naturf. Gesel. Basellands.*, 1900-1901.

La présence d'une couche de neige sur le sol abaisse toujours la température de l'air, ce refroidissement pouvant être évalué à 5° ; la température de la neige est du reste constamment inférieure à celle de l'air, la différence variant avec les régions, avec les saisons et avec les années ; à Buns la différence moyenne est de 2.3° , à Davos elle est de 3.9° . C'est lorsque l'air est pur que la température relative de la neige est la plus basse. Ce contraste entre l'atmosphère et la neige s'explique aisément, si l'on considère que la surface semée d'aspérités de la neige est très favorable au rayonnement et que sa blancheur et sa structure particulière rendent la réflexion spécialement intense. Les hautes pressions barométriques tendent à exagérer la différence de température ; quant aux vents il paraît probable qu'ils augmentent cette différence s'ils sont relativement chauds, qu'ils la diminuent s'ils sont relativement froids. C'est lorsque la température de l'atmosphère est égale à 0° que celle de la neige s'en éloigne le moins ; si à partir de là l'air se réchauffe la différence de température s'accroît rapidement ; si au contraire l'air se refroidit, cette différence n'augmente que lentement. Le seul cas à peu près où l'atmosphère soit plus froide que la neige est celui où un refroidissement marqué est provoqué par une chute de neige.

Par contre une couche même très peu épaisse de neige protège le sol contre les basses températures ; une épaisseur de quelques millimètres suffit pour provoquer entre l'air et le sol une différence de température très marquée, qui sera d'autant plus accusée que l'atmosphère sera plus froide. Ce n'est que si l'air en se réchauffant dépasse 0° que le sol sous la neige sera momentanément plus froid. Une couche de 20 à 25 cm. de neige suffit pour mettre le sol absolument à l'abri des fluctuations extérieures de la température.

TRANSPORTS ÉOLIENS.

Ayant étudié une série de poussières tombées en différents points de la Suisse occidentale de mai à août 1902, M. FOREL ¹ n'a trouvé aucune trace de cendres volcaniques ; par contre une poussière tombée le 2 août à Monthey (Valais), présente une frappante analogie avec les poussières sahariennes qui sont fréquemment jetées sur la Sicile, et il paraît justifié de

¹ F.-A. FOREL. Chutes de poussières signalées en Suisse en 1902. *C. R. Soc. helv. des sc. nat.*, 1902, p. 101, *Archives Genève*, t. XIV, p. 474, et *Eclogæ*, vol. VII, p. 350.

lui attribuer la même origine. Il semble du reste que des précipitations analogues se soient produites en même temps dans les environs de Morges et de Lausanne, ainsi que sur le glacier du Géant (massif du Mont Blanc).

TOURBIÈRES.

Dans une étude des **tourbières du canton de Saint-Gall et des environs d'Einsiedeln**, faite du reste surtout au point de vue botanique, M. H. SCHMIDT¹ étudie les relations qui existent entre l'établissement des tourbières en Suisse et la période glaciaire, et montre l'origine septentrionale de beaucoup des éléments de la flore des tourbières alpines. Il expose ensuite, sans du reste les discuter, les diverses hypothèses mises en avant pour expliquer la grande extension des glaciers pleistocènes ; puis il parle des dépôts et des charbons interglaciaires et touche à différents points concernant les formations quaternaires, sans apporter aucun fait nouveau. En terminant, il montre l'influence qu'exerce sur la composition botanique de la tourbe la nature chimique du sol et des eaux superficielles.

Actions et agents internes.

TREMBLEMENTS DE TERRE.

D'après le rapport annuel sur les **tremblements de terre en Suisse en 1901**, rédigé par M. R. BILLWILLER², le territoire de notre pays a été affecté pendant cette année par 6 seïsmes locaux :

1^o Un ébranlement dans la Basse-Engadine le 12 février à 5 h. 20 av. m.

2^o Un seïsmes alpin-jurassien dans le bassin du Léman le 15 février à 6 h. 30 av. m.

3^o Un second seïsmes dans la même région que le précédent le 17 février à 6 h. 36 av. m.

4^o Une secousse à Nyon-Céligny le 14 juillet à 5 h. 22 ap. m.

5^o Un seïsmes dans la Haute-Engadine le 2 octobre à 2 h. 25 av. m.

¹ H. SCHMIDT. Im Torfmoor. *Ber. über die Thätigkeit der St. Galler naturwiss. Ges.*, 1900-1901, p. 169-204.

² R. BILLWILLER. Bericht der Erdbeben-Kommission für 1901-1902. *Actes Soc. helv. des sc. nat.*, 1902, p. 214-215.

6° Un seïsme dans la Basse-Engadine le 14 décembre à 4 h. 40 av. m.

En outre, 3 tremblements de terre, dont le centre était à l'étranger, ont été ressentis dans certaines parties de la Suisse ; ce sont :

1° Un seïsme dans la région du Haut-Rhin le 24 mars à 4 h. 30 av. m.

2° Un seïsme en Alsace le 22 mai à 7 h. 57 av. m.

3° Un seïsme dans la plaine lombardo-vénitienne le 30 octobre à 3 h. 53 ap. m.

VOLCANISME.

En se basant sur une série de réactions obtenues au moyen du four électrique, M. A. ROSSEL¹ admet que les premiers minéraux formés sur la surface de la terre ont dû être des siliciures et des carbures métalliques (CaC_2 , Al_4C_3 , Mg_2Si , etc....); puis, lorsque les conditions ont permis la formation de la vapeur d'eau, celle-ci agissant sur ces carbures et ces siliciures a provoqué leur décomposition en oxydes d'une part (chaux, magnésie, alumine, etc....), et en gaz inflammables de l'autre (C_2H_2 , CH_4 , SiH_4 , etc....), qui en brûlant ont donné de l'eau avec CO_2 et SiO_2 .

Si l'on admet maintenant que siliciures et carbures existent encore en profondeur, les mêmes réactions doivent se produire, lorsque les eaux d'infiltration entrent en contact avec eux, et le dégagement et l'inflammation des gaz qui en résultent dans les régions moins profondes de l'écorce terrestre peuvent être la cause de phénomènes volcaniques et sismiques à la surface.

D'autre part, M. A. BRUN² cherchant à résoudre le **problème des explosions volcaniques**, a déterminé les points suivants :

1° La température des laves au moment de leur épanchement, et par conséquent au moment où elles sont le siège d'explosions violentes, oscille entre 1230° et 1400°.

¹ A. ROSSEL. Une cause possible des éruptions volcaniques. *C. R. Soc. helv. des sc. nat.*, 1902, p. 108-110, *Archives Genève*, t. XIV, p. 481, et *Eclogæ*, vol. VII, p. 355.

² A. BRUN. Note pouvant servir de base à une théorie de l'explosion volcanique. *Archives Genève*, t. XIII, p. 596-601.

2° Une roche dont la température dépasse 830° dégage de l'hydrogène par suite de la réaction de l'eau de constitution sur les sels ferreux. Cet hydrogène s'enflamme au contact de l'air par le fait de sa température élevée et produit des explosions.

3° Si une roche contenant 4 % d'eau de constitution est échauffée jusqu'à la température voulue, elle peut fournir suffisamment d'explosif pour lancer son double à 5 km. de distance.

4° En outre, si l'on fait intervenir ici la notion de co-volume, on peut dire qu'une roche échauffée et dégageant des gaz produit sur son enveloppe une pression plus grande que toute grandeur connue, si la densité des produits après la chauffe est plus petite que la densité de la roche primaire. Donc la température seule, sans la réaction productrice de H₂ peut suffire pour expliquer le soulèvement des masses.

MÉTAMORPHISME.

M. W. SPRING¹ a entrepris une série d'expériences dans le but de déterminer les conditions nécessaires à la naissance dans un milieu solide d'une **texture schisteuse**. Il a constaté en premier lieu que dans les schistes argileux des environs de Spa les surfaces de clivage renferment une proportion notablement plus forte de charbon que l'intérieur des feuillets et, en tenant compte d'autre part d'expériences précédentes, il admet que la structure schisteuse provient ici en grande partie de la superposition de zones alternativement plus et moins riches en charbon, ou en d'autres termes de la non homogénéité du complexe.

Pour confirmer cette manière de voir, l'auteur a comprimé perpendiculairement à leur plan de superposition une succession de couches d'argile après avoir fait évaporer sur la surface de chacune d'elles de l'eau noire de tourbière. La matière comprimée, n'étant pas soutenue latéralement, s'est amincie et a pris une structure schisteuse, les feuillets argileux compris entre deux zones bitumineuses ne s'étant nulle part confondus. En comprimant ensuite une succession de couches d'argile non bituminées à la surface, il a obtenu une masse homogène non schisteuse, dans laquelle toutes les couches étaient confondues.

¹ W. SPRING. Sur les conditions dans lesquelles certains corps prennent la texture schisteuse. *Archives Genève*, t. XIII, p. 329-344.

Pour expliquer les cas où la schistosité est indépendante du plan de stratification, M. Spring a utilisé une boîte d'acier percée au fond par une fente de 4 mm de largeur et dans laquelle se mouvait exactement un piston. En comprimant dans cette boîte des lames de plomb empilées et graissées pour éviter qu'elles ne se soudent les unes aux autres, il a vu sortir par la fente du fond une lame de plomb entièrement formée de feuillets parallèles aux parois de l'ouverture et par conséquent perpendiculaires au plan de superposition primitif des lames. En comprimant de la même façon des couches d'argile bituminées à la surface, il a obtenu un résultat analogue avec cette seule différence que, l'argile étant moins malléable que le plomb, les feuillets étaient moins continus. Ainsi on peut admettre que, pour que la schistosité se produise, il faut que la matière comprimée puisse glisser dans une direction donnée et alors le plan de schistosité est toujours parallèle à celle-ci; il n'est pas nécessairement perpendiculaire à la direction de la pression.

En comprimant ensuite dans le même moule de l'argile pure, M. Spring a constaté tout d'abord que l'argile sèche refuse de s'écouler même sous une pression de 10 000 atmosphères et ne devient pas non plus schisteuse; l'argile qui contient plus de 10 % d'eau s'écoule en une masse homogène non schisteuse. Quant à l'argile qui contient 5 à 6 % d'eau elle s'écoule en une bande feuilletée, dont les feuillets sont limités par des surfaces de glissement absolument semblables à celles qu'on rencontre dans certains schistes. Ici l'eau contenue dans l'argile s'en est séparée sous la pression et y a formé des veines qui ont joué le même rôle que les zones bitumineuses, favorisant le glissement de l'argile sur elle-même et par suite la formation des feuillets. Dans certains cas l'air emprisonné dans la roche peut produire les mêmes effets.

L'auteur conclut de ses expériences que la texture schisteuse n'est pas la conséquence forcée d'une compression énergique; elle provient toujours d'un défaut d'homogénéité de la matière comprimée et elle exige pour se développer un certain laminage, soit un écoulement et par conséquent un défaut d'égalité de la pression en tous sens. Elle peut se rencontrer dans toutes les roches qui ne sont pas absolument homogènes.