

**Zeitschrift:** Eclogae Geologicae Helvetiae  
**Herausgeber:** Schweizerische Geologische Gesellschaft  
**Band:** 7 (1901-1903)  
**Heft:** 1

**Artikel:** 3e partie, Géologie dynamique  
**Autor:** Sarasin, Ch.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-155906>

### **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:** 22.02.2026

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

3<sup>e</sup> PARTIE. — GÉOLOGIE DYNAMIQUE.

par CH. SARASIN.

*Actions et agents externes.*

## SÉDIMENTATION.

M. le professeur HEIM<sup>1</sup> a fait de 1897 à 1899 des expériences sur le dépôt de la vase dans le lac des Quatre-Cantons.

Il a déposé le 12 avril 1897 deux caisses métalliques sur le fond vaseux du lac, l'une un peu en amont du Grütli, à 200 mètres de profondeur, loin de toute embouchure de torrent, l'autre entre le delta de la Muotta et la moraine sous-lacustre qui se trouve en aval.

Ayant retiré ces caisses le 7 avril 1898, M. Heim constata dans la première un dépôt de 15 mm. d'épaisseur, qui se réduisit par dessication à 3,8 mm. Il s'est donc déposé en un an une quantité de vase correspondant à 1.91 gr. de vase humide, soit 0,95 gr. de vase sèche par centimètre carré. D'après ces chiffres et d'après la surface de la plaine du lac d'Uri, l'on peut admettre que la quantité de vase déposée pendant le même temps dans l'ensemble de ce bassin représente au moins 154 650 m<sup>3</sup> de vase humide correspondant à environ 40 000 m<sup>3</sup> de vase sèche.

La quantité de vase déposée pendant la même durée vers l'embouchure de la Muotta est beaucoup plus grande, mais elle est certainement anormale et a été considérablement exagérée par les travaux qui étaient effectués pendant l'été 1897 sur le cours de la Muotta, comme il est facile de s'en convaincre en comparant les premiers chiffres obtenus avec ceux de la période d'observation suivante. M. Heim a constaté ici entre le mois d'avril 1897 et le mois correspondant de 1898 le dépôt d'une couche de 8 cm. de vase compacte et nettement rubannée par la superposition de 6 à 8 zones de teintes un peu différentes; cette couche s'est réduite par dessication à une épaisseur de 28,6 mm. Il s'est donc déposé

<sup>1</sup> A. HEIM. Der Schlammabsatz am Grunde des Vierwaldstättersees. — Vierteljahrsschrift d. naturf. Ges. Zürich. Mai 1900, p. 165. — Voir aussi Bericht der Fluss-Commission über das Jahr 1899-1900, *Verh. der Schweiz. naturf. Ges.*, 1901, p. 171.

dans le bassin de la Muotta 12,66 gr. de vase humide, soit 7,14 gr. de vase sèche par cm.<sup>2</sup>.

Une seconde période d'observation s'étend du 7 avril 1898 au 12 septembre 1899 ; malheureusement la caisse placée en amont du Grütli ne put être retirée par suite de la rupture du cable. Quant à la deuxième caisse, après cette période d'observation beaucoup plus longue que la première, elle renfermait une couche de vase de 15 mm. environ d'épaisseur seulement et ce dépôt une fois desséché ne représente que 0,71 gr. par cm.<sup>2</sup>.

M. FRÜH, qui a étudié ces vases au microscope, a constaté une très grande analogie entre celles du bassin de la Muotta et celle des environs du Grütli ; toutes deux sont formées en grande partie par des particules de 0,001 à 0,0075 mm. de diamètre ; les éléments de 0,015 mm. et plus sont déjà relativement rares et les plus gros atteignent à peine 0,1 mm. de diamètre. La vase contient des débris de plantes macérées et, en petite quantité, des coquilles vides de diatomées.

D'après M. GRUBENMANN, la composition minéralogique des deux vases est très semblable ; toutes deux sont formées en grande partie d'éléments argileux et calcaires ; le quartz s'y trouve en quantité plus faible et, comme éléments peu abondants, on y voit des prismes de tourmaline, des aiguilles de rutile et de petits grains de hornblende chloritisée et de biotite.

Les analyses quantitatives, faites par M. SCHUDEL, ont donné les résultats suivants :

Lac d'Uri.				Bassin de la Muotta.			
Comp. minéralogique.		Comp. chimique.		Comp. minéralogique.		Comp. chimique.	
CaCO <sub>3</sub>	28.44	SiO <sub>2</sub>	41.20	CaCO <sub>3</sub>	33.24	SiO <sub>2</sub>	39.16
Pyrrothine	0.39	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.32	MgCO <sub>3</sub>	0.10	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.51
H <sub>2</sub> O	2.44	TiO <sub>2</sub>	1.28	Pyrrhotine	0.34	TiO <sub>2</sub>	0.94
Caolin	37.54	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.68	H <sub>2</sub> O	1.46	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.61
Mica	6.28	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.31	Caolin	36.99	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.29
Quartz	23.63	CaO	16.48	Mica	5.62	CaO	18.80
Titanite	1.28	MgO	1.90	Quartz	21.30	MgO	1.88
		C.O <sub>2</sub>	12.52	Titanite	0.95	CO <sub>2</sub>	14.67
		K <sub>2</sub> O	2.42			K <sub>2</sub> O	2.19
		Na <sub>2</sub> O	0.96			Na <sub>2</sub> O	0.61
		Cu	0.14			Cu	0.07
		Fe	0.10			Fe	0.14
		S	0.15			S	0.13
		Perte au feu	5.54			Perte au feu	5.00
	100.00		100.00		100.00		100.00

Cette étude comparative des deux vases est très intéressante par l'analogie très marquée qu'elle révèle entre elles quoique la Reuss et ses principaux affluents prennent leur source dans une région essentiellement cristalline, tandis que la Muotta coule dans une région formée par les calcaires et les marnes du Jurassique, du Crétacique et de l'Eocène.

### EROSION ET CORROSION.

Il est intéressant de signaler dans ce chapitre un travail qui ne se rapporte pas spécialement à notre pays, mais présente un grand intérêt au point de vue de la géophysique des Hautes-Alpes en général.

M. RICHTER <sup>1</sup> a étudié en détail les **Kahrs** (kaars ou kars) et en général les phénomènes d'érosion dans les régions élevées.

Les Kahrs sont de vastes niches au fond plat et aux bords abrupts en forme de demi-cercle, s'ouvrant vers l'aval sur un talus à forte déclivité. Le fond en est poli et moutonné, souvent recouvert de moraines, parfois d'alluvions; il peut présenter une contre-pente et former par suite le bassin d'un petit lac. Bon nombre de Kahrs sont occupés encore de nos jours par des glaciers ou des névés et ceux qui ne le sont plus, l'ont certainement été à une époque plus ancienne.

Comparant les Kahrs au phénomène analogue des **Botner** de Norvège, M. Richter attribue les uns et les autres à l'érosion glaciaire. Ils se trouvent en effet toujours à un niveau voisin de celui de la limite des neiges; de plus leur section transversale en forme d'U à fond élargi doit être l'œuvre des glaciers, qui usent leurs parois et élargissent leur lit, bien plutôt que des cours d'eau qui travaillent surtout en profondeur. La cause première du phénomène a dû être une dépression étroite qui, une fois occupée par le glacier, a été progressivement élargie par le recul de ses bords sous l'action combinée des variations de température, de la désagrégation atmosphérique et de l'eau de fusion de la neige, tandis que le fond ne subissait qu'une faible érosion par usure.

A côté des Kahrs proprement dits, qui se trouvent toujours dans le voisinage des arêtes, M. Richter décrit les **Kahrs en gradins** (Kahrtreppen) qui sont fréquents dans les hautes

<sup>1</sup> Dr E. RICHTER. Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen *Petermanns Mitth. Erg. Heft.* 132, 1900, 103 p., 6 pl.

vallées à profil inégal et qu'il attribue également à l'érosion glaciaire. Ce sont des paliers élargis en forme de cirque, au fond plat ou présentant même une contre-pente qui peut donner naissance à un lac. Plusieurs paliers semblables peuvent se succéder séparés les uns des autres par des gradins.

L'auteur conclut de ses observations que l'existence de Kahrs dans une région est la preuve certaine d'une glaciation. D'autre part les vallées occupées jadis par des glaciers se distinguent par leurs formes arrondies et par la présence fréquente de Kahrs en gradin. Quant à la section en forme d'U, si fréquente dans les hautes vallées alpines, elle est due sans aucun doute à l'érosion glaciaire et, d'après le niveau de ces vallées, souvent bien inférieur à celui de la grande glaciation, l'on peut admettre que leur profil caractéristique a été établi pendant la phase de recul des glaces.

Certaines régions à l'intérieur des Alpes sont caractérisées par leurs formes massives et peu découpées, qui attestent un arrêt très prolongé de l'érosion fluviale. Aussi est-il logique d'admettre que leur glaciation a commencé de très bonne heure et a persisté pendant les phases interglaciaires.

L'auteur termine en faisant ressortir le niveau relativement très élevé (1600-1800 m.) occupé par la limite des neiges éternelles pendant la période glaciaire dans les Alpes orientales.

M. SALOMON<sup>1</sup> a traité le même sujet des Kahrs et de l'érosion glaciaire. Il admet une érosion appréciable du lit des glaciers et cite comme facteur important de celle-ci la fusion constante de la glace sous les nombreuses pressions qu'elle subit dans ses frottements avec les roches encaissantes, et le regel de cette eau dans les fissures de ces dernières. Ces alternatives de dégel et de regel, bien plus fréquentes ici qu'à l'air libre, doivent produire une désagrégation rapide; et cet effet sera particulièrement intense dans les parties du lit où la pente est faible et où les frottements sont par conséquent plus énergiques. Les glaciers doivent creuser dans les parties inclinées de leur cours, soit en largeur, soit en profondeur, et donnent naissance ainsi à de larges cuvettes, qui peuvent se succéder en des sortes de chapelets. La formation de ces cuvettes est forcément influencée par la dureté et la fissilité des roches.

<sup>1</sup> W. SALOMON. Können Gletscher im anstehenden Fels Kare, Seebecken und Thäler erodieren?. — *N. Jahrb. f. Min. Geol. u. Pal.*, 1900, tome II, p. 417-438, 2 pl.



L'auteur cite comme exemple le val d'Agio dans le groupe de l'Adamello, qui présente un chapelet de six cuvettes et replats rocheux en partie occupés par des lacs. La roche y présente, partout où elle est à découvert, des traces évidentes d'érosion glaciaire. D'autre part, les Kahrs et les lacs de Kahrs sont fréquents dans les Vosges et la Forêt Noire, dont la glaciation ne fait pas de doute, tandis qu'ils manquent dans toutes les régions qui n'ont pas été couvertes par les glaciers.

M. W.-M. DAVIS<sup>1</sup> traite un sujet analogue à propos des formes caractéristiques de la **vallée du Tessin** entre Biasca et Giornico. Ce qui frappe dans cette région, c'est le fait que les vallées latérales débouchent toutes dans la vallée principale à plusieurs centaines de pieds au-dessus du seuil de cette dernière. Or ce caractère ne se présente que dans des régions longtemps recouvertes par des glaciers et est certainement en relation avec des phénomènes glaciaires. A ce propos, l'auteur cherche à démontrer l'importance qu'a dû prendre dans certains cas l'érosion par les glaciers contre laquelle on n'a invoqué que des arguments peu convaincants.

Le premier effet de cette érosion spéciale doit être d'user les saillies formées par les flancs de la vallée, d'atténuer ainsi les sinuosités de celle-ci et par suite de l'élargir. Les vallées érodées d'une façon prolongée par de puissants glaciers se distingueront donc des vallées dues seulement à l'érosion fluviale par leur grande largeur, leur cours rectiligne sur de grandes longueurs et leur section transversale en U.

Ces caractères se retrouvent exactement dans la région de Biasca, et les flancs de la vallée conservent pendant plusieurs kilomètres une direction sensiblement parallèle, sans former aucune saillie appréciable.

La base de ces flancs est formée sur une hauteur de 400 à 600 m., par des pentes abruptes et rocheuses auxquelles succèdent au-dessus des inclinaisons notablement moins fortes, sans que, du reste, aucun changement appréciable dans la roche puisse motiver ce changement brusque de pente. Il semble que les parties abruptes de la base correspondent au creusement d'une vallée récente au fond d'une ancienne vallée largement ouverte ; et cette hypothèse est confirmée par le fait que le seuil des vallées latérales correspond comme niveau au sommet de ces pentes abruptes.

<sup>1</sup> W.-M. DAVIS. Glacial erosion in the Valley of the Ticino. — *Appalachia*, 1900, tome IX, p. 136.

Les vallées latérales sont largement ouvertes, puis vers leur extrémité inférieure, leur thalveg est coupé par une gorge étroite qui s'est creusée sans aucun doute pendant et après l'abaissement du seuil de la vallée principale. Du reste, les cours d'eau affluents débouchent encore dans la vallée du Tessin bien au-dessus du niveau de ce dernier et y descendent par une succession de cascades.

Ces faits ne paraissent pas pouvoir s'expliquer, comme Heim l'a fait pour des phénomènes analogues, en admettant un soulèvement d'ensemble de la région qui aurait redonné aux cours d'eau un regain d'activité, naturellement beaucoup plus sensible pour les cours d'eau principaux à fort débit, que pour leurs affluents beaucoup plus faibles. Il est impossible d'admettre en effet que la vallée principale, ait pu subir non seulement l'approfondissement, mais encore et surtout, l'élargissement considérable qu'elle a éprouvés, sans que pendant la longue durée nécessaire à ce travail, les cours d'eau affluents n'aient réussi à se conformer aux nouvelles conditions.

La seule explication possible consiste à faire intervenir l'érosion glaciaire dans le creusement de la partie inférieure aux pentes abruptes de la vallée. Cette érosion s'est continuée, ici comme dans toutes les vallées occupées par de grands glaciers, aussi longtemps en aval que la couche de glace a été suffisamment puissante ; puis elle a cessé plus ou moins brusquement. Cette limite inférieure de l'affouillement par le glacier doit se marquer dans le relief par une contre-pente et par suite par un bassin lacustre plus ou moins étendu et il paraît probable que beaucoup de lacs doivent leur origine à des phénomènes de cette nature.

L'auteur termine par une intéressante comparaison entre l'érosion fluviale et l'érosion glaciaire.

#### SOURCES.

Lors du captage des **sources de Vals**, on constata que la composition de l'eau varie avec la profondeur et que la proportion des matières dissoutes est plus forte vers la base de la nappe d'eau que vers la surface. C'est pourquoi M. NUSSBERGER<sup>1</sup> ayant fait deux prises d'eau, l'une dans la profondeur, l'autre près du niveau supérieur de l'eau, en fit l'ana-

<sup>1</sup> Dr G. NUSSBERGER. Die chemische Untersuchung der eisenhaltigen Gypsquellen von Vals im Lugnez. — *Jahresb. der naturf. Ges. Graubündens* B. XLIII, p. 67.

lyse. Il put établir ainsi que seules les quantités de fer et d'acide carbonique varient et augmentent avec la profondeur, tandis que les autres matières en solution se trouvent aux différents niveaux en quantité constante.

Le même auteur <sup>1</sup> a entrepris l'étude de trois sources minérales qui sortent dans le val Sinestra, une vallée latérale qui débouche dans l'Engadine entre Sent et Remus. Ses analyses ont donné, pour 10000 parties d'eau, les résultats suivants :

	Source Thomas	Source Jean	Source Ulrich
Chlorure de sodium.....	3.2233	6.2322	11.4489
Chlorure de lithium.....	0.0266	0.1311	0.2362
Bromure de sodium... ..	0.0174	0.0297	0.0486
Iodure de sodium.....	0.0010	0.0017	0.0032
Borate de soude.....	0.8658	1.0509	1.5300
Arsenate de soude.....	0.0179	0.0292	0.0766
Phosphate de soude.....	traces		0.0020
Silicate de soude.....	0.1439	0.1196	0.2073
Sulfate de soude.....	1.2349	2.0217	3.3320
Sulfate de potasse.....	0.4044	0.7081	1.4190
Carbonate de soude.....	1.4568	3.4983	6.7538
Carbonate d'ammoniaque..	0.0535	0.0811	0.1066
Carbonate de chaux.....	8.5257	8.8837	13.0885
Carbonate de magnésie...	1.8101	2.2748	2.9945
Carbonate de fer.....	0.2135	0.2214	0.2034
Carbonate de manganèse..	0.0071	0.0044	0.0088
Alumine.....	0.0033	0.0028	0.0032
Total.....	18.0052	25.2907	41.4626

Ces trois sources ont une composition chimique analogue et ne se distinguent que par la quantité totale de matières dissoutes. Elles sont caractérisées par leur forte teneur en acide borique et en acide arsénique et l'on peut les classer comme sources ferrugineuses, alcalino-muriatiques, riches en acide carbonique libre.

M. BOSSHARD <sup>2</sup> a fait l'analyse de la **sources de Chasellas** près de Campfer sur le versant S du Pitz Nair (Haute Engadine).

<sup>1</sup> Dr G. NUSSBERGER. Die chemische Untersuchung der Mineralquellen von Val Sinestra bei Sent. *Jahresb. der naturf. Ges. Graubündens*, B. XLIII, p. 69.

<sup>2</sup> Dr E. BOSSHARD. Chemische Analyse der Trinkquelle Chasellas. — *Jahresb. der naturf. Ges. Graubündens*, B. XLIII, p. 105.



L'eau sort avec un débit de 15 litres à la minute et une température de 6°5 centigrade. Elle contient pour 10 000 parties d'eau :

Sulfate de potasse . . . . .	0.017
Chlorure de sodium . . . . .	0.033
Nitrate de soude . . . . .	0.101
Nitrate d'ammoniaque . . . . .	0.011
Sulfate de chaux . . . . .	0.309
Chlorure de calcium . . . . .	0.115
Carbonate de chaux . . . . .	0.725
Carbonate de magnésie . . . . .	0.168
Carbonate de fer . . . . .	0.029
Chlorure de lithium . . . . .	traces
Alumine . . . . .	0.012
Silice . . . . .	0.057
Substances organiques . . . . .	0.031
Total . . . . .	1.608
Acide carbonique libre ou demi-lié	2.172

#### COURS D'EAU.

M. l'ingénieur GREMAUD <sup>1</sup> a fait pendant les années 1898-1899 une série de prises d'eau dans la Sarine pour évaluer la quantité approximative de troubles entraînés par la rivière. Les teneurs en troubles, dosés à l'état de résidus secs, ont varié de 5 ‰ après une forte pluie à 0.23 ‰ après une série de beaux jours.

La chaux, la potasse et l'acide phosphorique ont été dosés dans ces résidus par MM. de Vevey et Evèquoz. La chaux représente approximativement le tiers du résidu total, la potasse y entre pour 0.5 à 1.5 ‰ et l'acide phosphorique pour 0.1 à 0.3 ‰.

#### LACS.

M. E. SARASIN <sup>2</sup> a exposé au Congrès international de physique de Paris l'état actuel de la question des **oscillations pendulaires des lacs**, connues sous le nom de seiches, et a donné les principaux résultats de la série d'études faites sur

<sup>1</sup> GREMAUD. Les eaux troubles de la Sarine. — *Bull. soc. fribourg. des sc. nat.*, tome VIII, p. 38.

<sup>2</sup> F.-A. FOREL et ED. SARASIN. Les oscillations des lacs. — *C. R. du Congrès international de physique à Paris, 1900.*

les différents lacs suisses par M. Plantamour, M. F.-A. Forel et par lui-même.

Le même auteur <sup>1</sup> a effectué une longue série d'observations sur les seiches du lac des Quatre-Cantons. Ayant établi simultanément un limnographe à Stanstadt et un autre à Küssnacht, il a pu constater à l'aide de ces deux appareils des oscillations transversales très nettes. Celles-ci sont unimodales et ont une durée de 18 minutes. Exceptionnellement il se produit des binodales transversales d'une durée de 9,27 minutes.

#### GLACIERS.

MM. F.-A. FOREL, M. LUGEON et E. MURET <sup>2</sup> ont publié le rapport annuel sur les **variations des glaciers suisses** qu'ils font précéder de quelques considérations spéciales. Ils font ressortir tout d'abord le caractère arbitraire des limites fixées sur l'atlas Siegfried aux glaciers des Alpes, celles-ci étant basées sur les dimensions momentanées de chaque glacier au moment des levers, qui ont été faits du reste à des époques très différentes suivant les régions. Ils proposent de donner dorénavant sur les cartes topographiques à chaque glacier son extension minimum, qu'il conserve après les plus fortes décrues, en marquant par un signe spécial (trait bleu pointillé) les limites qu'il atteint lors de ses plus grandes extensions.

Ils examinent ensuite l'origine de la **Kryokonite** ou limon très fin, qui forme sur la surface des glaciers et des névés des accumulations toujours très peu volumineuses. Ces dépôts sont dûs probablement les uns à des poussières entraînées par les avalanches de fond, les autres à un transport éolien favorisé par la sécheresse des régions élevées.

Les auteurs ont d'autre part relevé la position en 1899 des débris du célèbre **bloc de l'Hôtel des Neuchâtelois** sur le glacier de l'Aar. La position de ce bloc ayant été fixée en 1842 et en 1884, on peut facilement en déduire la vitesse moyenne d'écoulement de la partie du glacier qui le porte. Or une

<sup>1</sup> E. SARASIN. Oscillations du lac des Quatre-Cantons. — *C. R. des séances de la Soc. de phys. et d'hist. nat. de Genève. Archives Genève*, tome X, p. 600. Décembre 1900.

<sup>2</sup> F.-A. FOREL, M. LUGEON et E. MURET. Les variations périodiques des glaciers des Alpes. 20<sup>e</sup> rapport 1899. *Annuaire du S. A. C.* XXXV<sup>e</sup> année, p. 203-224, 1900.

comparaison des chiffres recueillis par Agassiz, par M. Forel en 1884, et par MM. Forel et Lugeon en 1899 montre un ralentissement très net du glacier de l'Aar.

L'observation des glaciers des Alpes a porté pour l'année 1899, sur 73 glaciers et a donné les résultats suivants :

Dans les Alpes valaisannes, sur 30 glaciers observés, 22 sont en décrue certaine, 3 en décrue probable, 4 en crue probable et 1 seul en crue certaine.

Les glaciers en crue sont :

Le glacier de Dala (vallée de Louèche) ?

» de Boveyre (vallée d'Entremont).

» de Valsorey (vallée d'Entremont) ?

» du Trient (vallée du Trient) ?

» des Grands (vallée du Trient) ?

La décrue presque générale affecte aussi le massif du Mont-Blanc, et M. Lugeon a constaté d'autre part une diminution très importante des névés dans le massif du Wildstrubel.

Les glaciers des Alpes vaudoises sont presque tous en décrue ; sur 7 qui ont été observés, deux seulement sont en crue probable : ceux du Scex Rouge et du Dard dans le territoire d'Ormont-dessus.

Dans le bassin de l'Aar seul le glacier de Gelten dans le territoire de Lauenen a marqué une crue probable. Dans le bassin de la Reuss, de nouveau un seul glacier, celui de Grassen dans le territoire d'Engelberg a marqué une crue probable. Dans le bassin du Rhin tous les glaciers observés sont en décrue ; enfin dans le bassin de l'Inn le glacier de Morteratsch, dans le territoire de Pontresina, a seul marqué une crue probable.

En résumé, sur les 73 glaciers observés, 1 seul est en crue certaine, 9 sont en crue probable, 19 sont en décrue probable et 44 en décrue certaine. On peut dire que la tendance à la décrue s'est encore accentuée pendant l'année 1899.

M. F.-A. FOREL <sup>1</sup>, grâce aux innombrables observations qu'il a faites lui-même sur les **variations des glaciers** depuis un grand nombre d'années et à celles d'autres auteurs qu'il a recueillies, a pu établir les lois suivantes :

<sup>1</sup> F.-A. FOREL. Les variations périodiques des glaciers. *Actes de la Soc. helv. des sc. nat.*, 83<sup>e</sup> session à Thusis, 1900, p. 51. — Voir aussi *Archives Genève*, tome X, p. 401. — Voir aussi *Eclogæ geol. helv.*, tome VI, p. 504.

1° Les variations subies par les glaciers sont des changements de volume et non pas seulement de forme. Un glacier qui s'allonge, s'élargit et s'épaissit en même temps.

2° Au milieu de l'irrégularité des variations glaciaires on observe parfois une certaine simultanéité d'allures. Il y a des phases générales de crue et de décrue.

3° Pendant le dix-neuvième siècle les glaciers suisses ont présenté les allures suivantes :

De 1800 à 1811 . . .	?
1811 à 1816-1822.	crue.
1818-1820 à 1826.	grand maximum.
1820-1830 . . .	légère décrue.
1830-1850 . . .	mouvements contradictoires.
1855 . . . . .	maximum.
1856-1900 . . .	décrue générale.
1875-1892 . . .	crue partielle de quelques glaciers suisses et savoyards.
1890-1900 . . .	crue partielle de quelques glaci- autrichiens.

4° Il y a deux types de variations :

a) L'une de période annuelle, due à l'intensité de la fusion pendant l'été ;

b) L'autre, de période cyclique, durant à peu près un tiers de siècle, due à une poussée en avant du glacier, qui est provoquée elle-même par un excès d'alimentation. Il est du reste certains glaciers qui ne réagissent pas à chaque retour de période.

5° Les phases de crue se développent successivement sur les différents glaciers, la neige tombée en excès dans les névés collecteurs ne pouvant pas arriver en même temps jusqu'au front des divers glaciers. Les phases de décrue commencent au contraire le plus souvent simultanément, l'amincissement de la couche de glace sous l'effet d'un été particulièrement chaud se produisant partout à la fois. Les phases de décrue peuvent pourtant se développer successivement, si elles sont dues non à un excès de chaleur, mais à une diminution des précipitations neigeuses.

6° On peut observer une tendance des crues à se développer à peu près simultanément dans les glaciers d'un même groupe montagneux sans toutefois que ceux-ci perdent leur caractère individuel.

M. F.-A. FOREL<sup>1</sup> a démontré par ses dernières observations faites au glacier du Rhône, en collaboration avec MM. L. Held et H. Seiler que, à la cascade du glacier, la couche de glace mesure à peine 5 à 10 m., que l'érosion y est presque nulle et que le torrent sous-glaciaire s'y déplace avec une extrême facilité.

M. M. LUGEON<sup>2</sup> a obtenu une série de belles photographies du **grain du glacier** prises dans une grotte du glacier du Rhône, après avoir coloré sur une paroi de glace les fissures capillaires par du violet d'aniline suivant le procédé de M. Hagenbach-Bischoff.

M. le professeur E. HAGENBACH<sup>3</sup> a fait, au Congrès international de physique à Paris, un rapport sur les glaciers, dans lequel il traite plus spécialement la question de la **structure de la glace**.

Tandis que celle-ci est compacte et transparente dans l'intérieur du glacier, elle se divise extérieurement par la fusion en grains de grandeur fort différente dont chacun est un cristal, comme on peut facilement s'en convaincre, soit par un examen optique, soit par l'observation des figures de fusion. Ces grains, rendus distincts par la fusion, deviennent de plus en plus gros dans les couches de plus en plus profondes de la glace et peuvent dépasser à la base la grosseur d'une noix. Ils sont orientés très diversement, ce qui prouve que leur orientation n'a rien à faire avec les pressions subies par la glace. Dans l'intérieur du glacier ils sont si solidement soudés les uns aux autres, qu'une cassure de la glace ne tient aucun compte de la surface des grains.

La température de la glace semble être partout sensiblement égale à son point de fusion dans les conditions spéciales de pression où elle se trouve.

M. F.-A. FOREL<sup>4</sup> a étudié la **structure rubannée du glacier** et attribue l'origine des bandes blanches : 1° A l'air contenu dans la neige ; 2° A l'air qui pénètre entre les grains du gla-

<sup>1</sup> F.-A. FOREL. Eboulement du glacier du Rhône. — *Eclogæ geol. helv.*, tome VI, p. 505.

<sup>2</sup> Prof. M. LUGEON. Photographies de grains du glacier. — *Actes Soc. helv. des sc. nat.*, 83<sup>e</sup> session à Thusis, 1900, p. 104. — Voir aussi *Arch. Genève*, tome X, et *Eclogæ geol. helv.*, tome VI.

<sup>3</sup> E. HAGENBACH. La glace et les glaciers. — *C. R. du Congrès international de physique*, Paris 1900.

<sup>4</sup> F.-A. FOREL. Structure rubannée du glacier. *Actes Soc. helv. des sc. nat.*, 83<sup>e</sup> session, Thusis, p. 105.



cier lors de la désagrégation de la glace sous l'action de la chaleur sur les parois des crevasses et qui est ensuite enfermé par la fermeture de ces dernières ; 3° A l'air emprisonné dans les brèches formées par les débris d'éboulement des aiguilles et pyramides de glaces.

### *Actions et agents internes.*

#### GÉOTHERMIE.

MM. DE FELLEBERG, KISSLING et SCHARDT<sup>1</sup> ont traité dans leur rapport sur les tunnels projetés à travers le Lötschberg des conditions géothermiques dans lesquelles se trouveraient ceux-ci. Ils arrivent à la conclusion que les températures maximales seraient de 30° pour le tunnel le plus court, de 31° pour le tunnel le plus long à travers le Lötschberg et de 37° à 38° pour le tunnel à travers le Wildstrubel.

#### TREMBLEMENTS DE TERRE.

Dans le rapport annuel de M. FRÜH<sup>2</sup> sur les phénomènes sismiques en Suisse pendant l'année 1898 nous trouvons signalés 25 séismes distincts répartis comme suit :

1. Le 24 janvier, à 10 h. av. m. une secousse assez forte, accompagnée de bruit souterrain, ressentie dans une région elliptique comprise entre Châtel-Saint-Denis, Vevey, Montreux, Château-d'Oex et Montbovon.

2. Le 16 février, un faible choc, à Saint-Gall.

3. Le 18 février, un tremblement bien marqué, ressenti suivant une zone étroite, large à peine de 2 km. et longue de 11 km., passant par Aawangen, Frauenfeld et Pfyn.

4, 5 et 6. Le 22 février à 11 h. 44 av. m., à 1 h. 45 apr. m. et à 2 h. 20 apr. m. 3 chocs successifs à Grandson et environs. De ces 3 secousses, la première est de beaucoup la plus importante, elle a été ressentie d'une façon générale entre Yverdon, Sainte-Croix et Grandson et son aire d'ébranlement s'est étendue jusqu'à Montreux, Morges, Vallorbes, Verrières, Val-de-Travers, Neuchâtel, Avenches, Payerne et Moudon. Elle a provoqué une violente agitation des eaux du lac de Neuchâtel.

7. Le 3 mars, une secousse locale à Grandson-Fiez.

<sup>1</sup> MM. DE FELLEBERG, KISSLING et SCHARDT. Lötschberg und Wildstrubel-Tunnel. Geologische Expertise. Bern 1900. Buchdruckerei R. J. Wyss.

<sup>2</sup> J. FRÜH. Die Erdbeben der Schweiz im Jahre 1898. — *Annalen der Schweiz. meteor. Centralanstalt*, 1898.

8. Le 8 mars, une secousse le long de la rive orientale du lac de Neuchâtel à Chevroux et Gletterens.

9. Le 11 mars, un seisme à Tschierschen, au-dessus de Coire.

10. Le 5 avril, une secousse à Zermatt.

11. Le 8 avril, un tremblement avec grondement souterrain à Grandson et Champagne.

12. Le 12 avril, un léger tremblement à Aubonne et Etoy.

13. Dans la nuit du 18 au 19 avril, nombreuses secousses faibles à Bullet, près Sainte-Croix.

14, 15 et 16. Le 22 avril, à 12 h. 5 av. m. et à 2 h. 20 av. m. et le 23 avril à 7 h. 5 av. m. 3 secousses dans la région de Grandson. La première, qui a été de beaucoup la plus importante, a une aire d'ébranlement s'étendant jusqu'à Travers, Sainte-Croix, Cossonay, Echallens, Yvonand, Concise, la seconde a été limitée à Yverdon, Grandson et Sainte-Croix ; la troisième à Grandson, Champagne et Fiez.

17. Le 6 mai à 2 h. 10 apr. m., un tremblement de terre qui a affecté la plus grande partie de la Suisse et les régions voisines de France, d'Allemagne et d'Italie.

18. Le même jour, à 10 h. du soir, un seisme ayant affecté la région de Thoune, du Beatenberg et les vallées de la Kander, de la Simme et de la haute Sarine.

19. Le 7 mai à 1 h. 15 av. m., une secousse à Zweisimmen.

20. Le 8 mai à 3 h. av. m., une secousse à Thoune et environs.

21. Le même jour à 5 h. 30 av. m., une secousse dans le Kienthal.

Ces cinq derniers sismes rentrent tous dans un même phénomène sismique. Le premier d'entre eux a une aire d'ébranlement considérable, il a été constaté sans l'intervention d'appareils spéciaux dans la région comprise entre Belfort, Mulhouse, Rappoldswiler, Waldkirch, Badenweiler, Weizen, Schaffhouse, Bregens, Coire, Bellinzona, Alpes valaisannes, Chambéry, Lyon, Macon et Dijon. La région de plus grande intensité peut être circonscrite comme suit : Genève, Bière, Lons-le-Saulnier, le Locle, Boudry, Uttigen, Beatenberg, Grindelwald, Brieg, Sierre, Aigle. La région d'ébranlement maximum correspond presque exactement avec l'aire d'ébranlement de la seconde secousse et comprend approximativement la région des Préalpes entre les lacs de

Genève et de Thoune. Il résulte des nombreux relevés d'heures recueillis, que le premier ébranlement a été ressenti suivant une ligne médiane Zurich-Genève de laquelle le mouvement s'est propagé soit vers le N-O, soit vers le S-E. Nous avons certainement affaire ici à un seisme d'ordre tectonique.

22. Le 14 juin, une secousse ressentie entre Rheineck, Saint-Gall, Brunnadern, Glaris, Ragatz et Frastens, dont l'ébranlement a été suffisamment fort entre Sargans et Vaduz pour lézarder des murs et faire tomber des cheminées.

23. Le 6 octobre, un tremblement de terre ressenti à Zurich, Winterthour et Schaffhouse en Suisse et d'autre part en Bavière et en Würtemberg jusqu'à la latitude d'Ulm.

24. Le 13 novembre une secousse limitée à peu près au canton de Glaris, mais assez violente pour décrocher de petits tableaux, arrêter des pendules et effrayer la population.

25. Le 16 décembre un léger seisme à Lugano.

Il est à remarquer que sur les 25 seismes enregistrés pendant l'année 1898, 20 se répartissent sur les mois de février à mai. D'autre part, la région de Grandson-Yverdon a été tout particulièrement affectée par les phénomènes sismiques. Enfin les 25 secousses se répartissent entre 10 tremblements de terre distincts :

1. Le 24 janvier, Veveyse et Sarine.
2. Le 18 février, Aawangen-Pfyn.
3. Le 22 février, tremblement de terre Vaud-Neuchâtel.
4. Le 3 mars, Grandson-Fiez.
5. Le 8 mars, rive orientale du lac de Neuchâtel.
6. Le 22 avril, tremblement de terre Vaud-Neuchâtel.
7. Le 6 mai, tremblement de terre alpin-jurassien.
8. Le 14 juin, Suisse occidentale et Vorarlberg.
9. Le 6 octobre Souabe-Suisse orientale.
10. Le 13 novembre, Glaris.

M. BÜHRER<sup>1</sup> a fait le relevé des tremblements de terre ressentis dans le canton de Vaud pendant l'année 1899. Ceux-ci se réduisent du reste à deux. Le premier s'est produit le 13 septembre à 12 h. 20 du matin à Grandson et Champagne sous forme de choc vertical. Le second, ressenti le 7 novembre à 1 h. 10 après-midi dans les vallées du Rhône et de la Dranse, a pris la forme d'une faible tremblement.

<sup>1</sup> C. BÜHRER, Tremblements de terre dans le canton de Vaud en 1899. — *C. R. des séances de la Soc. vaud. des sc. nat.*, Archives Genève, tome X, p. 492.