

# Analyse climatique des variations de longueur des glaciers de Pizol et Sardona (Suisse)

Autor(en): **Renaud, André**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **68 (1962-1964)**

Heft 310: **À la mémoire de F.-A. Forel**

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-275439>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## Analyse climatique des variations de longueur des glaciers de Pizol et Sardona (Suisse)

PAR

ANDRÉ RENAUD

(Commission des glaciers SHSN)

### PRÉAMBULE

En 1880, F.-A. FOREL (1841-1912) prenait seul l'initiative de rassembler toutes les observations sur les variations de longueur des glaciers suisses et européens, de les coordonner et de les analyser. Il créait ainsi une série de publications annuelles, unique en son genre, qui, grâce à ses successeurs, n'a jamais cessé de paraître (cf. NOTICE 1).

En 1882, déjà, FOREL étendait ses investigations aux glaciers de la Scandinavie et de l'Asie ; en 1894, à ceux du Groenland. En 1894, il était appelé à la présidence de la Commission internationale des glaciers, que venait de créer le Congrès international de Géologie de Zurich (FOREL, 1895) et entreprenait séparément la publication de rapports internationaux sur les variations des glaciers, dont la parution, après sa mort, subit quelques vicissitudes (cf. NOTICE 2). Il n'en demeure pas moins que l'idée de FOREL d'étendre le contrôle des variations des glaciers à l'ensemble du globe a puissamment stimulé la glaciologie. Tout récemment, elle a reçu une nouvelle consécration par la « Commission des neiges et des glaces », qui a pris de nouvelles dispositions pour la coordination et la publication des observations des variations actuelles des glaciers sur le plan international (cf. bibl. : *Variations du régime des glaciers existants*, 1962).

Si le nom de notre illustre compatriote est attaché à une montagne du Groenland et à un glacier du Spitzberg, il convient de rappeler qu'il désigne aussi une particularité très remarquable des cristaux de glace connue sous le nom de *stries de Forel*. C'est en 1886 qu'il les observa le premier, en étudiant avec son ami ED. HAGENBACH de Bâle, la glace d'une grotte du Glacier d'Arolla (FOREL, 1887). Ces stries apparaissent à la surface des cristaux de glace en fusion et peuvent être facilement reproduites sur du papier par des frottis au crayon tendre (Planche hors texte). On les considère maintenant comme des figures de corrosion consécutives aux glissements des atomes dans les plans de base (0001) lorsque les cristaux sont soumis à des pressions accompagnées de déformations plastiques.

## LES VARIATIONS DES GLACIERS

Année après année, FOREL s'efforçait d'analyser dans ses rapports les variations des glaciers dont il rassemblait les données, et d'en déceler les causes. Très vite, il s'écarta de son propos initial, qui était de tenter une explication des fluctuations du niveau du Léman, et il a fallu attendre une publication récente (KASSER et SCHWEIZER, 1955) pour qu'une première tentative soit faite, non pour expliquer directement les variations du niveau du Léman, mais pour prévoir, dans certaines conditions, le débit du Rhône, son principal affluent.

En revanche, FOREL ne tarda pas à reporter, avec ses contemporains, son attention sur les relations entre les fluctuations du climat et les variations des glaciers. Mais, dans ce domaine encore, qui se révèle si complexe, on peut dire qu'en dépit de quelques tentatives intéressantes (BILLWILLER, 1930 et 1948 ; HAEFELI, 1955/56 ; KASSER et MULLER, 1960), cette étude est tout juste commencée. Elle n'a guère porté que sur quelques grands glaciers, excluant délibérément les petits, notamment ceux qui occupent, non des vallées, mais des cirques ou des bassins fermés, par exemple Bella-Tola, Martinets, Plan-Névé (Vaud), etc., et dont l'allure diffère très notablement de celle des glaciers d'écoulement.

En 1897 déjà, constatant que le régime des petits glaciers était particulier, FOREL (1897) écrivait :

Nous avons étudié les variations chez les grands glaciers ; nous aurions plus vite abouti en commençant par les petits... ; mais les mesures sont plus délicates et difficiles. Est-ce une raison pour ne pas les faire ?

Dans les grands glaciers de vallée, le Grand Glacier d'Aletsch par exemple, les variations dans l'alimentation des régions supérieures ne produisent d'effets visibles au front qu'après un temps assez long. Cependant, malgré ce retard de phase, la glace qui constitue la langue est toujours, ou presque, de la vieille glace issue de la métamorphose des névés supérieurs. Dans le cas d'un glacier de ce type, par exemple, une augmentation progressive du névé, caractérisée par un relèvement de sa surface, n'est pas incompatible, la même année, avec un recul de la position du front située des centaines, voire des milliers de mètres plus bas.

Dans les petits glaciers, par contre, les facteurs qui interviennent dans le bilan annuel agissent presque simultanément et il n'est pas rare que le front du glacier manifeste une crue de courte durée, sans rapport avec un changement réel de régime. Dans ce cas, il n'y a pas nécessairement une accélération de la poussée dynamique au front ; mais souvent une « surimposition » de glace juvénile, transformation rapide de résidus de neige d'hiver sur un fond de vieille glace.

Il est donc aisé de comprendre que les mesures effectuées chaque année sur la position du front des petits glaciers soient beaucoup plus délicates à effectuer et à interpréter. En particulier, les crues des petits glaciers ne peuvent pas être assimilées sans autre à celles des glaciers de vallées et une nouvelle investigation méthodique des conditions affectant les petits glaciers et de la signification de leur comportement est devenue nécessaire. C'est ce qui explique l'attention portée aux deux petits glaciers de *Pizol* et *Sardona*, en attendant le résultat des recherches en cours sur le Glacier de Plan-Névé (Vaud).

#### LE CAS DES GLACIERS DE PIZOL ET DE SARDONA

L'intérêt que présentent ces deux petits glaciers du canton de Saint-Gall est dû, d'une part à leur position avancée sur le flanc nord-est des Alpes suisses (Carte nationale au 1 : 50 000, Feuille 247), d'autre part à l'existence d'observations météorologiques effectuées dans la région (Vättis, altitude 943 m ; Elm, altitude 977 m ; Säntis, altitude 2500 m), enfin et surtout à la qualité des observations particulièrement soignées qui y ont été effectuées ces dernières années par l'un des collaborateurs de la Commission des glaciers SHSN, M. URS EUGSTER, ingénieur forestier à Weesen (Saint-Gall).

Dans une récente publication (EUGSTER, 1962), M. EUGSTER a mis en évidence, à l'aide de tableaux et diagrammes, une certaine dépendance entre les variations de longueur de ces deux glaciers, mesurées depuis 1920, et les éléments du climat local caractérisé par les observations faites à Vättis et Elm.

Afin de préciser et de compléter les conclusions formulées par M. EUGSTER, j'ai calculé un certain nombre de *coefficients de corrélation mathématiques* entre les variations de longueur de ces glaciers d'une part, entre les variations de chacun d'eux d'autre part, et quelques facteurs de climat. En plus des observations de Vättis et Elm, j'ai tenu compte de celles du Säntis, dont l'altitude est voisine de celle des glaciers considérés. J'ai introduit notamment dans cette analyse la *somme des températures positives (moyennes journalières) des mois d'été (mai à septembre)* au Säntis, dont maints auteurs ont reconnu la signification dans la fonte estivale des neiges temporaires, et qui a été trop peu utilisée jusqu'ici en glaciologie.

Avant de donner les résultats, je précise que, depuis 1920, le recul annuel moyen du Glacier de Pizol (0,25 km<sup>2</sup>) est de 6,7 m et que ses variations sont plus prononcées que celles du Glacier de Sardona (0,8 km<sup>2</sup>), dont la surface est plus fortement chargée de débris morainiques. Pour ce dernier, la diminution annuelle moyenne de longueur est de 3,9 m, soit les 57 % de la variation de son voisin. Ces deux

glaciers sont donc, depuis 1920, en phase de décrue progressive, comme l'ensemble des glaciers alpins. Cependant, il est curieux de relever qu'ils ont à peine marqué la « petite crue » de 1916 à 1923 qui affecta le 70 % des glaciers suisses.

Je ne juge pas utile de reproduire ici toutes les données utilisées pour les calculs des coefficients de corrélation, au nombre de quinze. Je me borne à donner dans le tableau 1 les éléments de base les plus intéressants et à mentionner au bas du tableau ceux qui ont été encore utilisés, mais sans les accompagner de leurs valeurs numériques.

TABLEAU 1

Colonne 1 = variation de longueur du Glacier de Pizol (+ signifie crue ; — signifie décrue).

Colonne 2 = variation de longueur du Glacier de Sardona (+ signifie crue ; — signifie décrue).

Colonne 3 = Somme des températures positives (moyennes journalières) au Sântis du 1<sup>er</sup> mai au 30 septembre (5 mois).

*Remarque* : Les mensurations des glaciers n'ont pas été faites chaque année régulièrement. Lorsque la variation donnée ici est affectée d'un astérisque (\*), il s'agit d'une valeur présumée obtenue en répartissant sur chaque année la variation globale mesurée pour plusieurs années consécutives (généralement deux ans).

Année	Colonne 1 Pizol (m)	Colonne 2 Sardona (m)	Colonne 3 Sântis (degrés)
1920	— 5,5	— 10,0	+ 618
1921	— 15,5	— 14,0	+ 739
1922	0 *	0 *	562
1923	+ 8,5	+ 7,0	574
1924	— 5,0	— 8,5	515
1925	— 13,0	— 5,0	497
1926	+ 11,5	+ 9,0	472
1927	0,0	— 2,0	634
1928	— 14,5	— 16,0	726
1929	— 4,5	— 6,5	770
1930	— 15,5	— 5,5	651
1931	+ 3,0	+ 4,5	599
1932	— 5,0	— 19,0	696
1933	+ 2,5	— 8,5	534
1934	— 59,0	— 18,5	646
1935	+ 8,5	— 3,0	640
1936	— 1,0 *	— 6,5 *	597
1937	— 1,0 *	— 6,5 *	682
1938	0 *	0 *	566
1939	+ 12,0 *	+ 1,0 *	588
1940	+ 12,0 *	+ 1,0 *	470

TABLEAU 1 (suite)

Année	Colonne 1 Pizol (m)	Colonne 2 Sardona (m)	Colonne 3 Sântis (degrés)
1941	+ 12,0 *	+ 1,0 *	513
1942	- 12,5	- 0,5 *	673
1943	+ 1,0 *	0,0 *	698
1944	+ 1,0 *	- 0,5 *	655
1945	+ 1,0 *	- 0,5 *	765
1946	+ 1,5	- 10,0	616
1947	- 73,5	- 25,0	860
1948	+ 54,0	+ 28,0 *	601
1949	- 82,0	- 24,0	693
1950	- 25,5	- 4,0	850
1951	- 14,0	- 33,5	732
1952	+ 9,0 *	+ 14,5 *	728
1953	+ 9,0 *	+ 14,5 *	748
1954	+ 5,0 *	- 7,0	519
1955	+ 5,0 *	+ 4,5 *	574
1956	+ 5,0 *	+ 4,5 *	597
1957	- 0,5	0,0	561
1958	- 38,0	- 11,5	816
1959	- 36,5	- 7,0	794
1960	- 16,5	+ 2,5	577
<i>Moyenne</i> 1920-1960	- 6,75	- 3,92	642,6

J'ai admis que les coefficients de corrélation  $R$ , dont la valeur dépasse six fois l'erreur médiane  $e$  pour une sélection de  $N$  couples de valeurs, expriment une corrélation réelle. Par conséquent :

$$\text{Si } N = 40, \quad R \text{ réel} \geq 0,4875$$

$$\text{Si } N = 41, \quad R \text{ réel} \geq 0,4837$$

Une corrélation absolue se traduit par les coefficients  $+1$  ou  $-1$  selon qu'elle est directe ou inverse,  $R = 0$  exprime une corrélation nulle. J'ai groupé dans le tableau 2 les résultats trouvés, en mettant entre parenthèses les coefficients inférieurs aux valeurs significatives limites données plus haut.

TABLEAU 2

1. Corrélation entre les variations de longueur des deux glaciers (colonnes 1 et 2).  
 $N1 = 41 \quad R1 = + 0,7310 \quad (e = \pm 0,0496)$
2. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et la somme des températures mai-septembre au Sântis (colonnes 1 et 3).  
 $N2 = 41 \quad R2 = - 0,4967 \quad (e = \pm 0,0803)$
3. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et la somme des températures mai-septembre au Sântis (colonnes 2 et 3).  
 $N3 = 41 \quad [R3 = - 0,3443] \quad (e = \pm 0,0940)$
4. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et les précipitations annuelles à Elm.  
 $N4 = 41 \quad [R4 = + 0,2623]$
5. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et les précipitations annuelles à Vättis (colonnes 1 et 5).  
 $N5 = 41 \quad [R5 = + 0,2659]$
6. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et les précipitations annuelles à Elm (colonnes 2 et 4).  
 $N6 = 41 \quad [R6 = + 0,2417]$
7. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et les précipitations annuelles à Vättis (colonnes 2 et 5).  
 $N7 = 41 \quad [R7 = + 0,1615]$
8. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et la température moyenne de juillet à Elm (colonnes 1 et 6).  
 $N8 = 41 \quad [R8 = - 0,3787] \quad (e = \pm 0,0924)$
9. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et la température moyenne de juillet à Vättis (colonnes 1 et 7).  
 $N9 = 40 \quad [R9 = - 0,3060]$
10. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et la température moyenne de juillet à Elm (colonnes 2 et 6).  
 $N10 = 41 \quad [R10 = - 0,3128]$
11. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et la température moyenne de juillet à Vättis.  
 $N11 = 40 \quad [R11 = - 0,2919]$
12. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et la température moyenne annuelle à Elm (colonnes 1 et 8).  
 $N12 = 41 \quad [R12 = - 0,3864] \quad (e = \pm 0,0906)$
13. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Pizol et la température moyenne annuelle à Vättis (colonnes 1 et 9).  
 $N13 = 40 \quad [R13 = - 0,2611]$

TABLEAU 2 (suite)

14. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et la température moyenne annuelle à Elm (colonnes 2 et 8).

$$N_{14} = 41 \quad [R_{14} = -0,2917]$$

15. Corrélation entre les variations de longueur du Glacier de Sardona et la température moyenne annuelle à Vättis (colonnes 2 et 9).

$$N_{15} = 40 \quad [R_{15} = -0,3005]$$

## COMMENTAIRES ET DISCUSSION

1. *La corrélation la plus élevée (R1) montre que les deux petits glaciers, distants de 8 km, ont le même régime*, mais que leurs variations ne sont pas absolument concordantes. Une certaine individualité demeure entre les variations des glaciers, qui ne sont donc pas simultanées, ce que FOREL avait clairement reconnu à la fin de sa vie (FOREL, 1911) et qui justifie l'utilité des observations étendues à un grand nombre de glaciers, même s'ils sont situés dans le même massif.
2. L'absence de corrélation entre les variations de longueur des glaciers et les précipitations annuelles mesurées dans les stations subalpines de Elm et Vättis (coefficients  $R_4$  à  $R_7$ ) est très significative. Seule importe, en effet, *l'accumulation nette réelle* \* dans le bassin glaciaire lui-même, valeur qui, pour les glaciers de Pizol et Sardona, est absolument inconnue. Or, cette accumulation nette mesurée en automne dépend tout autant des facteurs thermiques que des précipitations globales.
3. Les coefficients de corrélation recherchés entre les variations de longueur des glaciers et la température moyenne annuelle de l'air des stations subalpines d'Elm et Vättis sont un peu plus élevés ( $R_{12}$  à  $R_{15}$ ), ce qui montre la prédominance de l'effet thermique. Les coefficients  $R_8$  à  $R_{11}$ , légèrement supérieurs aux précédents (température du mois de juillet) le confirment, et mettent en évidence le rôle de la *température estivale*.
4. Le coefficient  $R_2$  et, dans une moindre mesure il est vrai, le coefficient  $R_3$  confirment *l'incontestable corrélation qui existe entre les variations de longueur et la somme annuelle des températures positives de l'air durant la saison d'ablation (mai à septembre)*, surtout si l'on dispose pour l'établir, d'un observatoire tel que celui du Säntis, dont l'altitude est voisine de celle des bassins glaciaires considérés.

\* Ou résidu d'accumulation, soit solde de l'enneigement hivernal et printanier, après fonte estivale partielle.



Cette conclusion de notre étude est la plus intéressante ; car elle confirme a posteriori l'action de la température estivale dont FOREL n'avait reconnu le rôle décisif que vers la fin de sa carrière (FOREL, 1908). Ne répudiant point pour autant l'importance fondamentale qu'il faut attribuer aux accumulations de neige sur les névés, il ajoutait :

Les variations générales de la température de l'air, notamment de la température estivale, interviennent plus que nous l'avions cru jusqu'à présent dans les variations de longueur des glaciers !

Or, cette thèse que nombre d'études récentes confirment, est restée par trop inaperçue. A l'échelle du globe, le facteur thermique est sans doute aussi déterminant.

5. Si la corrélation entre la somme des températures estivales positives du Sântis et les variations de longueur du Glacier de Sardona ( $R3 = -0,34$ ) est plus faible que celle se rapportant aux variations de longueur du Glacier de Pizol ( $R2 = -0,50$ ), la raison doit en être recherchée dans l'existence du revêtement morainique du premier, qui atténue fortement l'ablation due au rayonnement solaire et atmosphérique. On peut donc en déduire que *les « glaciers blancs », tel que celui de Pizol, sont des indicateurs plus sensibles des variations du climat que les glaciers recouverts de moraines.*

\* \* \*

L'ensemble de ces résultats peut paraître décevant. On peut néanmoins y trouver quelques éléments utiles pour orienter les études de glaciologie climatique et paléoclimatique. Sans doute aussi, la méthode utilisée n'est-elle pas à l'abri de quelques critiques et je serais le dernier à penser que les coefficients de corrélation établis expriment nécessairement des relations causales.

\* \* \*

En dépit de ces réserves, il faut reconnaître avec FOREL que le facteur thermique semble déterminant. Il ressort non seulement des facteurs de corrélation  $R2$ ,  $R3$  et  $R8$  ; mais aussi directement du tableau 1. On voit en effet que les glaciers de Pizol et de Sardona ont eu 11 *crues simultanées* dont 9 ont coïncidé avec des déficits thermiques estivaux, et 18 *décrués simultanés*, dont 14 à la suite d'étés plus chauds que la moyenne quarantenaire.

Il convient encore de mentionner les récentes observations de M. EUGSTER. De 1960 à 1962, le Glacier de Pizol a avancé de 36 m et celui de Sardona de 13,4 m. Il ne s'agit pas d'une crue véritable, mais

d'une surimposition, au front même, de glace récente formée aux dépens de résidus de névé de l'hiver 1960-1961. Cette transformation est étonnamment rapide. Mais le fait que la surface du Glacier de Sardona s'abaisse montre bien qu'il s'agit d'une crue « apparente ».

Cette dernière constatation illustre l'insuffisance des observations au front et la nécessité d'établir des *bilans de masse* pour caractériser le régime des glaciers. FOREL déjà relevait que *les variations des glaciers sont des changements, non de forme, mais de volume*. La glaciologie n'a donc pas fini de suivre la voie que FOREL lui avait tracée, loin de là !

#### Remerciements :

Nous remercions très vivement, d'une part l'*Institut suisse de Météorologie à Zurich* (MM. J. LUGEON, directeur, et W. KUHN, climatologue, et l'*Institut de mathématiques appliquées de l'EPUL*, à Lausanne (M. le professeur CH. BLANC), qui a mis à disposition sa calculatrice électronique.

\* \* \*

N. B. : Je viens d'apprendre que le nom de FOREL a été donné en 1962 à un glacier de l'île de Kerguelen.

Cf. : ALBERT BAUER : Les glaciers de l'île de Kerguelen. *Publ. N° 2 CNFRA*, Paris, IGN, à paraître.

#### NOTICE 1

Les *rapports sur les variations des glaciers suisses* créés par F. A. FOREL ont été rédigés par :

- N<sup>os</sup> 1 (1880) à 15 (1894) : F.-A. FOREL.
- N<sup>os</sup> 16 (1895) à 17 (1896) : F.-A. FOREL et L. DU PASQUIER.
- N<sup>os</sup> 18 (1897) à 27 (1906) : F.-A. FOREL, M. LUGEON et E. MURET.
- N<sup>o</sup> 28 (1907) : F.-A. FOREL, E. MURET, P.-Ls MERCANTON, E. ARGAND.
- N<sup>os</sup> 29 (1908) à 32 (1911) : F.-A. FOREL, E. MURET, P.-Ls MERCANTON.
- N<sup>os</sup> 33 (1912) à 34 (1913) : E. MURET et P.-Ls MERCANTON.
- N<sup>os</sup> 35 (1914) à 70 (1949) : P.-Ls MERCANTON.
- N<sup>os</sup> 71 (1950) à 75 (1954) : P.-Ls MERCANTON et A. RENAUD.
- N<sup>os</sup> 76 (1955) à 82 (1961) : A. RENAUD.

Ils ont paru dans les publications suivantes du Club alpin suisse (CAS) :

- N<sup>os</sup> 1 et 2 : *Echo des Alpes* XVII et XVIII. Genève, 1881, 1882.
- N<sup>os</sup> 3 à 44 : *Annuaire du CAS*, vol. XVIII à LVIII. Berne, 1883 à 1924.
- N<sup>os</sup> 45 à 82 : *Les Alpes*, revue du CAS, Berne, 1925 à 1962.

#### NOTICE 2

Les *rapports internationaux sur les variations des glaciers* pour les années 1895 à 1904 ont paru dans les *Archives des sciences physiques et naturelles* (Genève). Pour les années 1905 à 1912, dans la *Zeitschrift für Gletscherkunde* (Berlin) et, dès lors, dans les publications de l'*Association internationale d'Hydrologie scientifique (AIHS)*.

## BIBLIOGRAPHIE

- BILLWILLER, R, 1930 — Temperatur und Niederschlag im schweizerischen Alpengebiet während des letzten Gletschervorstosses und einige Rückschlüsse auf die eiszeitlichen Verhältnisse. *Ann. der Schw. Met. Zentralanstalt*. Jahrg. 1930.
- 1948 — Die kurzfristigen Schwankungen der Alpengletscher und ihre Ursachen. *Procès-verbaux des séances de l'Ass. gén. d'Oslo (1948) de l'U.G.G.I.*, pp. 323-326. Imprimerie Ceuterick, Louvain (Belgique).
- EUGSTER, U. 1962. — Les récentes variations des petits glaciers du Pizol et de Sardona. Publ. N° 58 de l'*Ass. int. d'hydr. scient.* 1962, pp. 166-172. Ed. L. J. Tison, Gentbrugge, Belgique.
- FOREL, F.-A. 1887. — Etudes glaciaires II. *Arch. des sc. phys. et nat.* (Genève.) Juin 1887. t. XVII, pp. 481-487.
- 1895 : La Commission internationale des glaciers. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 1895.
- et coll. 1897. — Les variations périodiques des glaciers des Alpes, 17<sup>e</sup> rapport 1896. *Ann. du C.A.S.* XXXII<sup>e</sup> rapport 1897, pp. 282-287.
- 1908. — Température estivale et variations de grandeur des glaciers. *Mém. soc. Imp. russe de Géogr.*, t. XLVII, Saint-Petersbourg 1909.
- 1911. — Le cycle de Brückner (31<sup>e</sup> rapport sur les variations des glaciers suisses), *Ann. du C.A.S* XLVI<sup>e</sup> année, pp. 251-259. Berne, 1911.
- HAEFELI, R. 1955/56. — Gletscherschwankung und Gletscherbewegung. *Schw. Bauzeitung* 73/74 Jahrgang, Zürich, n<sup>os</sup> 42, 44, 1956.
- KASSER, P. et SCHWEIZER, W. 1955. — Voraussage der globalen Sommerabflussmenge der Rhone bei Porte du Scex auf Grund von Winterniederschlag und Winterabfluss. *Wasser u. Energiewirtschaft*, n<sup>os</sup> 5-7, Zürich, 1955.
- 1959. — Der Einfluss von Gletscherrückgang und Gletschervorstoss auf den Wasserhaushalt. *Wasser u. Energiewirtschaft* n<sup>o</sup> 6, Zürich, 1959.
- et MULLER, W. 1960. — Über die Gletscheränderungen seit 1900 in den Schweizeralpen, mit Hinweisen auf die Bedeutung für die Wasserwirtschaft *Wasser u. Energiewirtschaft*, n<sup>o</sup> 8-10, pp. 224-233. Zürich, 1960.

## LÉGENDE DE LA PLANCHE

## Stries de Forel

Reproduction d'un frottis (agrandissement 3,15×) effectué sur des cristaux de glace du Glacier de Z'Mutt (Valais, Suisse), à 15 mètres à l'intérieur d'une galerie creusée par la Grande Dixence S. A. (30.10.1949).

Les différents cristaux du conglomérat se reconnaissent chacun par l'orientation propre des stries qui sont perpendiculaires à l'axe principal de chaque cristal. La glace était à la température du point de fusion.

