

MARKUS AELLEN (\*)

## LES VARIATIONS RECENTES DES GLACIERS DES ALPES SUISSES

RÉSUMÉ: AELLEN M. *Les variations récentes des glaciers des Alpes suisses* (IT ISSN 0084-8948, 1985).

Dans les Alpes suisses, les variations des glaciers ont été observées systématiquement depuis plus d'un siècle, surtout celles des front terminaux, mesurées chaque année, dès 1880. Durant cette période centenaire, les glaciers ont été réduits dans toutes leurs dimensions géométriques, jusqu'à l'état de leur étendue minimale depuis le Moyen Age. Vers 1850, ils avaient atteint pour la dernière fois l'état de leur étendue maximale des temps historiques. Dès lors, le régime glaciaire a été marqué par une tendance générale à la décrue, interrompue par des périodes de crue, vers 1890 et 1920. Depuis une trentaine d'années, la tendance à la décrue s'est affaiblie et, vers 1980, une nouvelle crue glaciaire s'est manifestée, surtout dans les régions du versant Nord des Alpes et dans les hauts massifs des Alpes Occidentales. La tendance à la crue a été maximale en 1978 et 1980, années extrêmement riches en précipitations avec des saisons de fonte très courtes. Dans les années suivantes, avec des précipitations moins excessives et des longues périodes de chaud en été, elle s'est nettement affaiblie. Parmi les causes immédiates de la crue récente, les plus évidentes sont: *a*) l'état des glaciers, réduit à des dimensions plus ou moins équilibrées par rapport aux conditions climatiques des dernières décennies, *b*) l'augmentation notable des précipitations dès 1964, et *c*) le refroidissement modéré de la température estivale de l'air, de 1965 à 1980.

RIASSUNTO: AELLEN M., *Le variazioni recenti dei ghiacciai delle Alpi svizzere* (IT ISSN 0084-8948, 1985).

Nelle Alpi svizzere, le fluttuazioni dei ghiacciai sono state osservate sistematicamente da più di un secolo, soprattutto le variazioni delle fronti, ove le misure si sono ripetute annualmente, a partire dal 1880. Nel corso di questo arco di tempo, i ghiacciai hanno subito una riduzione in tutte le loro dimensioni geometriche fino a valori di estensione minima mai raggiunti dopo il Medioevo. Verso il 1850, essi avevano raggiunto per l'ultima volta uno stato di estensione massima, per i tempi storici. Dopo di allora, il regime glaciale era stato caratterizzato da una tendenza generale alla contrazione, interrotta da periodi di crescita verso il 1890 e il 1920. A partire da una trentina d'anni fa la tendenza alla contrazione si è attenuata e, verso il 1980, si è manifestata una nuova fase di avanzata, soprattutto nelle regioni poste sul versante Nord delle Alpi e sugli alti massicci delle Alpi Occidentali. La tendenza all'avanzata è stata massima nel 1978 e nel 1980, anni estremamente ricchi di precipitazioni,

con stagioni di ablazione assai brevi. Negli anni seguenti, con precipitazioni meno eccessive e con lunghi periodi caldi d'estate, quella tendenza si è nettamente attenuata. Tra le cause immediate della recente crescita, le più evidenti sono: *a*) lo stato dei ghiacciai, ridotti a dimensioni più o meno in equilibrio in rapporto alle condizioni climatiche degli ultimi decenni, *b*) l'aumento notevole delle precipitazioni a partire dal 1964, *c*) il moderato abbassamento della temperatura estiva dell'aria tra il 1965 e il 1980.

TERMINI CHIAVE: Glaciologia; variazioni climatiche, fluttuazioni glaciali; bilancio glaciale; Alpi svizzere.

### INTRODUCTION

Les observations systématiques sur les variations annuelles des fronts des glaciers suisses ont été initiées, en 1880, par le limnologue François Alphonse FOREL (1841-1912), qui – alors – était l'un des experts consultés par le tribunal fédéral suisse dans le fameux « procès du Léman ». Dans sa fonction d'expert, FOREL devait, en premier lieu, déceler les causes des inondations dévastatrices sur les bords du Lac Léman, qui étaient à la cause du procès. Le Canton de Genève, inculpé par le Canton de Vaud d'avoir causé le malheur par des installations techniques dans le déversoir du lac, se défendait en suggérant, que la crue des eaux était due à la fonte excessive des glaciers du Valais plutôt qu'à leurs installations.

FOREL a continué ses observations sur les variations des glaciers par des relevés annuels et des rapports y relatifs portant tour à tour sur l'entier des Alpes, suisses et étrangères. En 1893, la Société Helvétique des Sciences Naturelles (SHSN) a fondé sa Commission des Glaciers qui, dès sa fondation, a poursuivi les relevés et rapports annuels de FOREL et en a fait l'une de ses tâches principales. Depuis 1964, les VAW la soutiennent dans ce projet, en présidant à l'organisation des mesures, la collection des données et la publication des résultats. La continuité des observations a été assurée, en 1893 déjà, par l'assistance des services forestiers de 9 cantons suisses et plusieurs collaborateurs privés (aujourd'hui au nombre de 8) pour la plupart des mensurations terrestres. Plus

(\*) *Laboratoires de Recherches Hydrauliques, Hydrologiques et Glaciologiques (VAW) de l'Ecole Polytechnique Fédérale à Zurich (EPFZ), Suisse.*

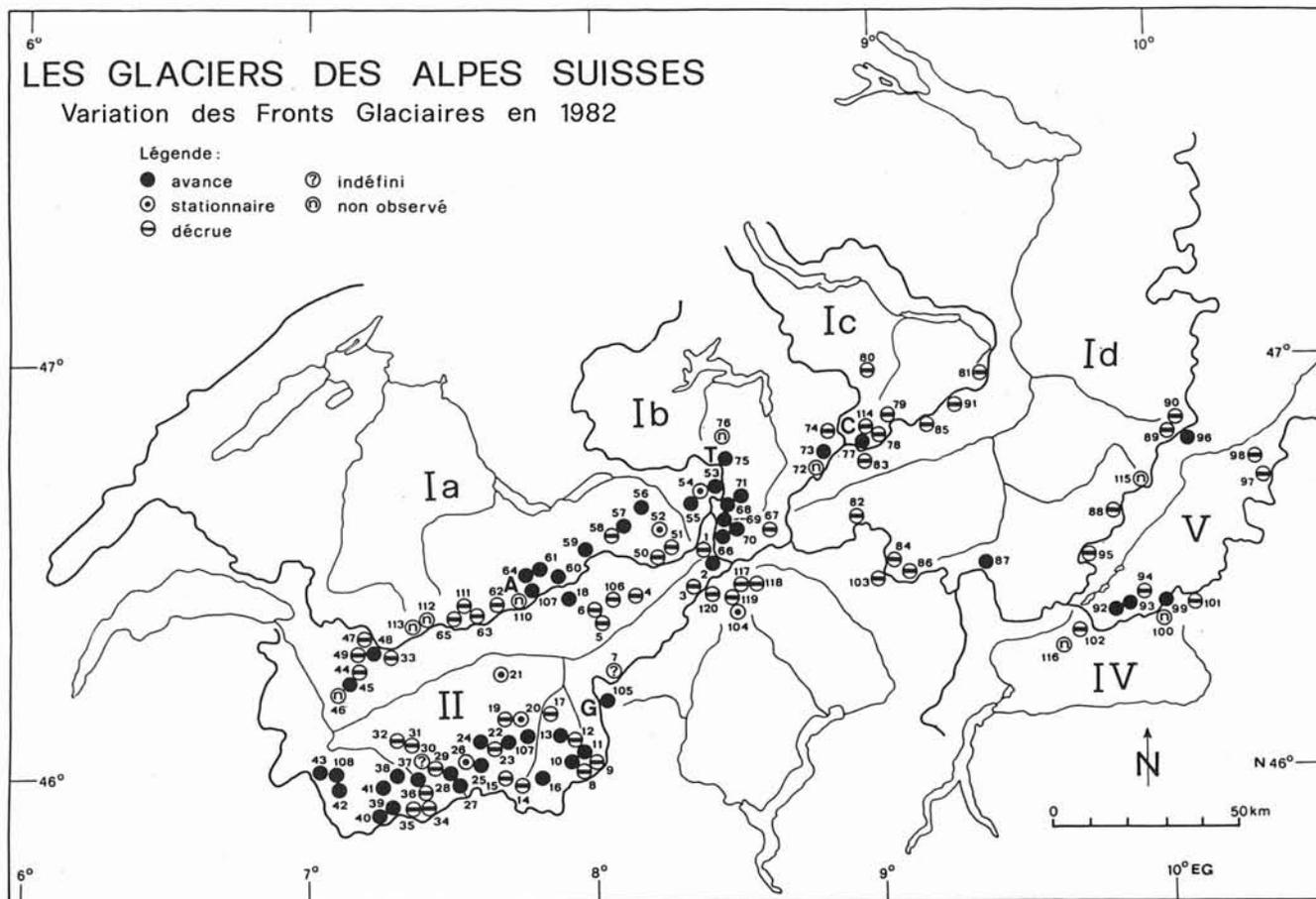


FIG. 1. - Réseau d'observations actuel de la Commission des Glaciers de la Société Helvétique des Sciences Naturelles, avec indication de la variation du front des glaciers observés à la fin de l'exercice 1981-82

*Bassins versants principaux de la Suisse:* Ia) Bassin de l'Aar (glaciers nos. 50-65, 109-113, A); Ib) Bassin de la Reuss (glaciers nos. 66-76, T); Ic) Bassin de la Linth/Limmat (glaciers nos. 77-81, 114, C); Id) Bassin du Rhin/Bodan (glaciers nos. 82-91, 115); II) Bassin du Rhône (glaciers nos. 1-49, 107, 108, G); III) Bassin du Tessin (glaciers nos. 103-105, 117-120); IV) Bassin de l'Adda (glaciers nos. 99-102, 116); V) Bassin de l'Inn (glaciers nos. 92-98).

*Réseau d'observations sur la variation annuelle du front des glaciers:* 1) Rhône; 2) Mutt; 3) Gries (Aegina); 4) Fiescher; 5) Aletsch grand; 6) Aletsch Supérieur; 7) Kaltwasser; 8) Tälliboden; 9) Ofental; 10) Schwarzberg; 11) Allalin; 12) Kessjen; 13) Fee (Nord); 14) Gorner; 15) Zmutt; 16) Findelen; 17) Ried; 18) Lang; 19) Tourtemagne; 20) Brunegg; 21) Bella Tola; 22) Zinal; 23) Moming; 24) Moiry; 25) Ferpècle; 26) Mont Miné; 27) Arolla (Mt. Collon); 28) Tsidjiore Nouve; 29) Cheillon; 30) En Darrey; 31) Grand Désert; 32) Mt. Fort (Tortin); 33) Tsanfleuron; 34) Otemma; 35) Mont Durand; 36) Breney; 37) Giétro; 38) Corbassière; 39) Valsorey; 40) Tseudet; 41) Boveyre; 42) Saleina; 43) Trient; 44) Paneirosse; 45) Grand Plan Névé; 46) Martinets; 47) Sex Rouge; 48) Prapio; 49) Pierredar; 50) Aar Supérieur; 51) Aar Inférieur; 52) Gaudi; 53) Stein; 54) Steinlimmi; 55) Trift (Gadmen); 56) Rosenlaur; 57) Grindelwald Supér.; 58) Grindelwald Infér.; 59) Eiger; 60) Tschingel; 61) Gamchi; 62) Schwarz; 63) Lämmern; 64) Blümlisalp; 65) Rätzli; 66) Tiefen; 67) Sankt Anna; 68) Kehlen; 69) Rotfirn (Nord); 70) Damma; 71) Wallenbur; 72) Brunni; 73) Hüfi; 74) Griess (Uri); 75) Firnalpeli (Est); 76) Griessen (Obwald); 77) Biferten; 78) Limmern; 79) Sulz; 80) Glärnisch; 81) Pizol; 82) Lavaz; 83) Punteglias; 84) Lenta; 85) Vorab; 86) Paradies; 87) Suretta; 88) Porchabella; 89) Verstankla; 90) Silvretta; 91) Sardona; 92) Roseg; 93) Tschierva; 94) Morteratsch; 95) Calderas; 96) Tiatscha; 97) Sesvenna; 98) Lischana; 99) Cambrena; 100) Palü; 101) Paradisino; 102) Forno; 103) Kehlen; 104) Basodino; 105) Rossboden; 106) Aletsch Moyen; 107) Bis; 108) Orny; 109) Alpetli (Kander); 110) Lötschberg; 111) Ammertent; 112) Dungal (Wildhorn); 113) Gelten; 114) Plattalva; 115) Scaletta; 116) Albigna; 117) Valleggia; 118) Val Torta; 119) Cavagnoli; 120) Corno.

*Observations sur la variation de la masse, du niveau de la surface ou du mouvement glaciaires:* Bilan de masse total: Gries (3), Aletsch (5+6+106), Limmern (78), Silvretta (90) et Plattalva (114); Bilan de masse partiel: Aar supérieur (50) et inférieur (51); Mesures ponctuelles: Schwarzberg (10), Allalin (11), Kessjen (12), Gorner (14), Findelen (16), Giétro (37), Corbassière (38), Rossboden (105) et, en outre, Gruben (G), Altels (A), Titlis (T) et Clariden (C).

tard, le soutien offert par 2 sociétés de forces motrices hydroélectriques et plusieurs institutions fédérales, notamment les services topographiques, a permis d'ajouter, chaque année, des observations aériennes et même des mensurations aérophotogrammétriques aux observations, faites sur le terrain, afin de déterminer la variation annuelle de la position du front glaciaire.

Des mesures et mensurations, destinées à saisir les variations annuelles ou saisonnières soit de l'épaisseur des glaciers, soit du bilan de masse ou du mouvement glaciaires, qui sont des opérations bien plus coûteuses que l'observation du front glaciaire, ont été effectuées sur plusieurs glaciers. Sur le Glacier du Rhône, un tel projet, initié par un « Collège Glaciaire » (fondé en 1869 par la SHSN et le Club Alpin Suisse) et poursuivi par son successeur, la Commission des Glaciers, a été effectué par une équipe d'arpenteurs professionnels du service topographique fédéral, pendant une cinquantaine d'années, à partir de 1874, avec publication des résultats de 1874 à 1915 (MERCANTON, 1916). Dans le cadre d'un autre projet, initié par une Commission de Glaciers Zurichoise, éteinte en 1946, des balises d'accumulation ont été installées sur les névés du Glacier de Clariden (Canton de Glaris), en 1913, du Glacier de Silvretta (Grisons), en 1914, et du Grand Glacier d'Aletsch (Jungfraufrn, Va-

lais), en 1918. Ces observations ont été poursuivies, dès 1946, par l'Institut Suisse de Météorologie, jusqu'en 1972, et par les VAW, jusqu'en 1980. Aujourd'hui, la Commission des Glaciers de la SHSN préside également à ce projet, dont les résultats ont été publiés dans des rapports annuels particuliers (dits « Firnberichte »), de 1914 à 1977, édités par la Société Zurichoise des Sciences Naturelles (« Der Firnzuwachs pro..., 1914-1977 »).

Avec la construction des aménagements hydroélectriques en haute montagne pour exploiter les réserves en eau des bassins versants englacés, l'intérêt pratique et économique porté aux bilans de masse glaciaire a donné l'occasion d'installer des réseaux d'observations (balises d'accumulation et balises d'ablation) aux glaciers de l'Aar, en 1924, de Limmern et Plattalva, en 1947, de Silvretta, en 1959, de Gries (Aegina), en 1961, et sur d'autres glaciers. A la suite de la catastrophe de Mattmark, en 1965, avec 88 personnes tuées par un éboulement du Glacier d'Allalin, l'intérêt pratique a porté de plus en plus sur des questions de sécurité ou de risques de danger, dus au mouvement de glaciers raides ou à l'instabilité des glaciers suspendus. Evidemment, les risques de danger ont été multipliés, au cours des derniers 20 ans, par la construction de nombreuses installations touristiques en haute montagne et notamment sur les glaciers.

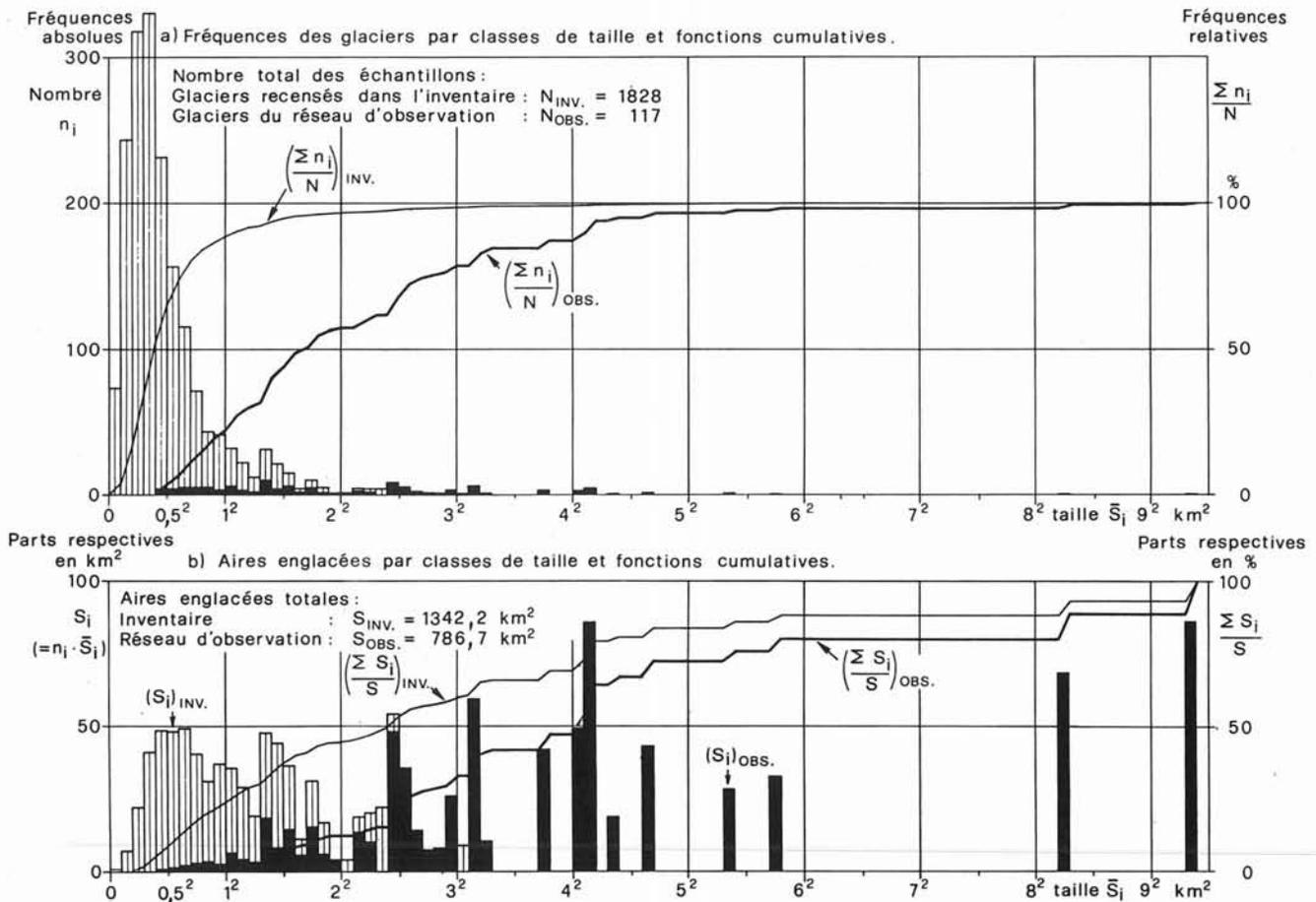


FIG. 2 - Répartition de l'aire englacée des Alpes suisses selon la taille des glaciers en 1973.

## LE RÉSEAU D'OBSERVATIONS DE LA COMMISSION DES GLACIERS SUISSE

A l'état actuel, le réseau d'observations de la Commission des Glaciers de la SHSN comprend 120 appareils glaciaires, dont la variation annuelle de la position du front est déterminée selon la quantité (distance) et la qualité (direction) du déplacement ou selon la qualité seule. Dans la fig. 1, les glaciers du réseau actuel sont représentés avec les résultats de l'exercice 1981-82. Dans la fig. 2 et les tableaux 1 et 2, leur nombre et leur surface sont opposées, à titre de comparaison, aux chiffres respectifs de la totalité des glaciers des Alpes suisses. Ces données sont tirées de l'inventaire des glaciers et névés des Alpes suisses, qui a été dressé, en 1973, sous la direction de feu Fritz MÜLLER (MÜLLER & *alii*, 1976) et dans lequel on trouve un choix de données décrivant les dimensions géométriques et d'autres particularités caractéristiques des 1828 appareils recensés. La répartition du nombre et de la surface des glaciers individuels par classes de taille, représentée dans la fig. 2, est résumée par les chiffres du tabl. 1. La répartition géographique par unités hydrographiques (bassins versants principaux), indiquée dans la fig. 1 pour les glaciers du réseau d'observation, est résumée dans le tabl. 2 avec indications approximatives pour la répartition par unités orographiques (versants externes et régions internes) des Alpes suisses. Dans ses rapports annuels, FOREL a sectionné les glaciers observés, dès le début, suivant les unités hydrographiques. Approximativement, celles-ci représentent les unités orographiques principales par les regroupements suivants.

A part quelques petits glaciers situés dans les bassins

du Rhin (Id) ou du Rhône (II), les glaciers du versant externe Nord des Alpes se trouvent dans les bassins versants de l'Aar, de la Reuss ou de la Linth/Limmat. Les glaciers du bassin de l'Inn (V) et presque tous ceux des bassins du Rhin et du Rhône se trouvent à l'intérieur des chaînes faîtières principales Nord et Sud des Alpes. Les glaciers du versant externe Sud sont situés dans les bassins du Tessin (III), de l'Adda (IV) ou de l'Adige. En résumant les résultats de l'examen comparatif, on notera, que le réseau d'observations actuel comprend les fractions suivantes (tabl. 1): un nombre de 26 parmi près d'un millier de petits glaciers avec une surface de 10 à 100 hectares, le tiers du nombre total des 170 glaciers de taille moyenne et 37 parmi 38 grands glaciers, dont la surface dépasse 6,25 km<sup>2</sup>. En revanche, aucun des névés ou glaciers ultra-petits, à surfaces de 1 à 9 hectares, qui représentent plus d'un tiers du nombre des 1828 appareils recensés dans l'inventaire, mais ne recouvrent qu'une surface de 30 km<sup>2</sup> au total, soit une part de 2,3 % de la surface englacée de la Suisse, fait partie du réseau.

Avec une prédominance des 57 glaciers de taille moyenne et des nombres pas trop inégaux de 37 grands et 26 petits glaciers, le réseau actuel représente une part de 10 % seulement du nombre des 1 194 glaciers, dont la surface dépasse la limite arbitraire de 0,09 km<sup>2</sup>, mais néanmoins comprend une part de 59 % des 1 342 km<sup>2</sup> de la surface englacée de la Suisse. Lors des efforts faits à plusieurs reprises pour compléter, homogénéiser ou même réduire le réseau d'observations, on a compris que, pour des raisons purement pratiques et donc bien banales, la plupart des glaciers, qui ne font pas parti du réseau, ne seraient guère mesurables avec des efforts ou frais raison-

TABEAU 1

LES GLACIERS DES ALPES SUISSES EN 1973, RÉPARTIS SELON LA TAILLE DE LEUR SURFACE.

classes de taille surface km <sup>2</sup>	nombre de glaciers		surface glaciaire (km <sup>2</sup> )	
	total (1)	observés (2)	totale (1)	des glaciers observés (2)
0,01 - 0,09	634	0	30	0
0,10 - 0,99	986	26	296	13
1,00 - 6,24	170	57 (3)	391	166 (3)
6,25 - 86,76	38	37	625	616
0,01 - 86,76	1828	120 (3)	1342	795 (3)

(1) Nombre et surface des glaciers recensés dans l'inventaire des glaciers suisses: « Firn und Eis der Schweizer Alpen. Gletscherinventar » (voir références).

(2) Nombre et surface des glaciers compris dans le réseau d'observations actuel de la Commission des Glaciers de la Société Helvétique des Sciences Naturelles (confère fig. 1: glaciers 1-120).

(3) Les chiffres correspondants de la fig. 2 se réfèrent à l'état du réseau d'observations en 1973 qui, alors, ne comprenait pas les glaciers 112, 113 et 116 avec les surfaces respectives de 1,2, 1,8 et 5,3 km<sup>2</sup>.

TABLEAU 2

LES GLACIERS DES ALPES SUISSES EN 1973 - RÉPARTITION SUR LES BASSINS VERSANTS PRINCIPAUX DE LA SUISSE.

bassin versant	nombre de glaciers		surface glaciaire (km <sup>2</sup> )	
	total (1)	observés (2)	totale (1)	des glaciers observés (2)
Ia Aar	194	21 <sup>(3)</sup>	240	159 <sup>(3)</sup>
Ib Reuss	177	11	94	37
Ic Linth/Limmat	51	6	27	9
I (a+b+c) « Versant Nord »	422	38	361	205 <sup>(3)</sup>
Id Rhin	297	11	84	20
II Rhône	641	52	746	503
V Inn	250	7	85	37
Id+II+V « Régions internes »	1188	70	915	560
III Tessin	142	7	32	7
IV Adda et Adige	76	5 <sup>(3)</sup>	34	23 <sup>(3)</sup>
III+IV « Versant Sud »	218	12 <sup>(3)</sup>	66	30 <sup>(3)</sup>
Total « Alpes suisses »	1828	120	1342	795

(1)-(3) Confère remarques du tabl. 1.

nables, ni sans risque de danger démesuré pour l'observateur visitant sur place l'objet des mesures. Pour les mêmes raisons, on a dû abandonner, au cours des années, le contrôle régulier d'une quarantaine de glaciers, qui avaient été observés pendant une période de 5 années successives au moins (tabl. 3).

#### LES VARIATIONS DES FRONTS GLACIAIRES

Les résultats principaux des observations faites sur les glaciers du réseau de la Commission sont reportés dans la fig. 3, où sont indiqués, outre le nombre de glaciers observés (en bas), les pourcentages respectifs des glaciers en crue et des glaciers en décrue (en haut) pour chaque année de la période 1890/91 - 1982/83. La figure met en relief les périodes de crue, vers 1920 et vers 1980, qui sont séparées par une longue période de décrue avec, au minimum de l'année 1947, un seul glacier progressant. La figure ne montre pas les résultats des années 1879/80 - 1889/90 avec des petits nombres de glaciers observés et durant lesquelles une première période de crue a interrompu la décrue rapide des glaciers après leur dernière étendue maximale, vers 1850. Les limites atteintes lors de ce dernier état maximal sont marquées par des moraines frontales ou latérales puissantes, bien visibles dans le ter-

rain, aujourd'hui encore, à des distances considérables devant les fronts glaciaires actuels. Le recul total durant ces 120 à 130 années de décrue générale avec des périodes de crue passagères varie de 0,6 km (Glacier Supérieur de Grindelwald) à 2,7 km (Grand Glacier d'Aletsch). Dans la fig. 4, les variations annuelles observées depuis 1880 sont mises en relation avec le recul total depuis la crue vers 1850 pour une douzaine de glaciers, choisis dans les différentes régions des Alpes suisses.

Dans son invitation à participer à cette réunion, M. le Président CASTIGLIONI a exprimé le désir d'être informé sur les variations des glaciers suisses, notamment ceux du versant externe des Alpes. Pour cette raison, un triage des observations a été fait selon les unités hydrographiques et orographiques indiquées dans le tabl. 2. Cette analyse préliminaire a montré les faits suivants: dans le bassin du Rhône, le pourcentage des glaciers en crue ne diffère guère de celui de l'ensemble total des Alpes suisses. En revanche, une variabilité bien plus prononcée a été constatée dans les bassins du versant Nord (Aar, Reuss et Linth/Limmat) réunis, aussi bien que dans l'ensemble partiel réunissant les glaciers des autres bassins. Un examen plus rigoureux sera nécessaire pour décider, si ces différences apparentes, plus ou moins systématiques, entre les régions sont dues à des différences réelles dans les conditions climatiques régionales ou si elles sont dues surtout aux différences des paramètres statistiques caracté-

TABLEAU 3

NOMBRE TOTAL DES ANNÉES D'OBSERVATIONS SUR LES VARIATIONS DES FRONTS DES GLACIERS SUISSES.

Durée totale nombre d'années (1)	glaciers du réseau actuel d'observations nombre (2)	glaciers observés temporairement avant 1956 nombre (3)	glaciers observés en total nombre
100 - 109	5 <sup>(2a)</sup>	—	5
90 - 99	18 <sup>(2b)</sup>	—	18
80 - 89	27 <sup>(2c)</sup>	—	27
70 - 79	5 <sup>(2d)</sup>	—	5
60 - 69	8 <sup>(2e)</sup>	3 <sup>(3a)</sup>	11
50 - 59	16 <sup>(2f)</sup>	1 <sup>(3b)</sup>	17
40 - 49	5	—	5
30 - 39	12	4	16
20 - 29	9	3	12
10 - 19	11	11	22
1 - 9	4	88	92
1 - 109	120	110	230

(1) Somme des années observées. Pour différents glaciers les observations peuvent s'espacer dans le temps sur intervalles différents et de durée plus longue que celle indiquée.

(2) Les longues séries d'observations poursuivies aujourd'hui encore aux glaciers indiqués par leur numéro du tabl. 1 avaient été commencées aux années suivantes:

(2a) 1870: 1	(2c) 1879: 13	(2d) 1880: 56	(2f) 1886: 34
1878: 28, 43, 94	1887: 39	1893: 64, 104	1888: 37, 38
1879: 51	1891: 22, 31, 32, 33, 105	1894: 46, 76	1893: 60, 112
(2b) 1880: 11, 57, 58	1892: 16	(2e) 1890: 60	1914: 23
1881: 18	1893: 61, 68, 71, 77,	1891: 24	1915: 10
1882: 14, 72, 73, 102	81, 85, 88, 95	1892: 15	1921: 8
1883: 4, 5, 19, 25, 27	1894: 75, 84, 92	1894: 100	1923: 62
1884: 44, 45	1895: 83, 91, 98	1912: 79	1925: 66, 67, 70, 89
1886: 7	1897: 103	1918: 2, 29	1926: 96
1887: 42, 53	1898: 47, 48, 82, 86	1919: 50	1927: 65
			1928: 74

(3) Les longues séries d'observations abandonnées jusqu'en 1956 aux glaciers suivants avaient été commencées aux années:

(3a) 1893: Kartigel, Schlossfirn	(3b) 1893: Clariden
1894: Petit Plan Névé	

risant les échantillons choisis. Pour cette première comparaison, on n'a pas tenu compte du fait, que les échantillons considérés sont assez inégaux quant au nombre et à la taille des glaciers compris (tabl. 2), ni du fait, que le choix des glaciers observés a varié aussi avec le temps, quant au nombre (tabl. 3) et à la taille (fig. 4). Ce dernier fait n'est pas reflété dans les courbes des pourcentages de la fig. 3. Pourtant, si l'on met en relation les variations des glaciers avec les variations des données climatiques, il faut se rendre compte, qu'à leur état actuel, les glaciers ne sont plus tels, qu'ils ont été vers 1850, au début de la période séculaire de décrue, ou vers 1880, au début des observations systématiques sur leurs varia-

tions annuelles. L'importance et la variabilité de cette déformation continue sont illustrées dans la fig. 4 pour un choix exemplaire de 12 glaciers par les courbes cumulatives de leur variations en longueur à partir de l'état de leur dernière étendue maximale.

#### LES VARIATIONS DE L'ÉPAISSEUR ET DU BILAN DE MASSE DES GLACIERS

Dans le terrain, la diminution de l'épaisseur et du volume des langues glaciaires est souvent mise en évidence par les pentes morainiques, raides et instables, si-

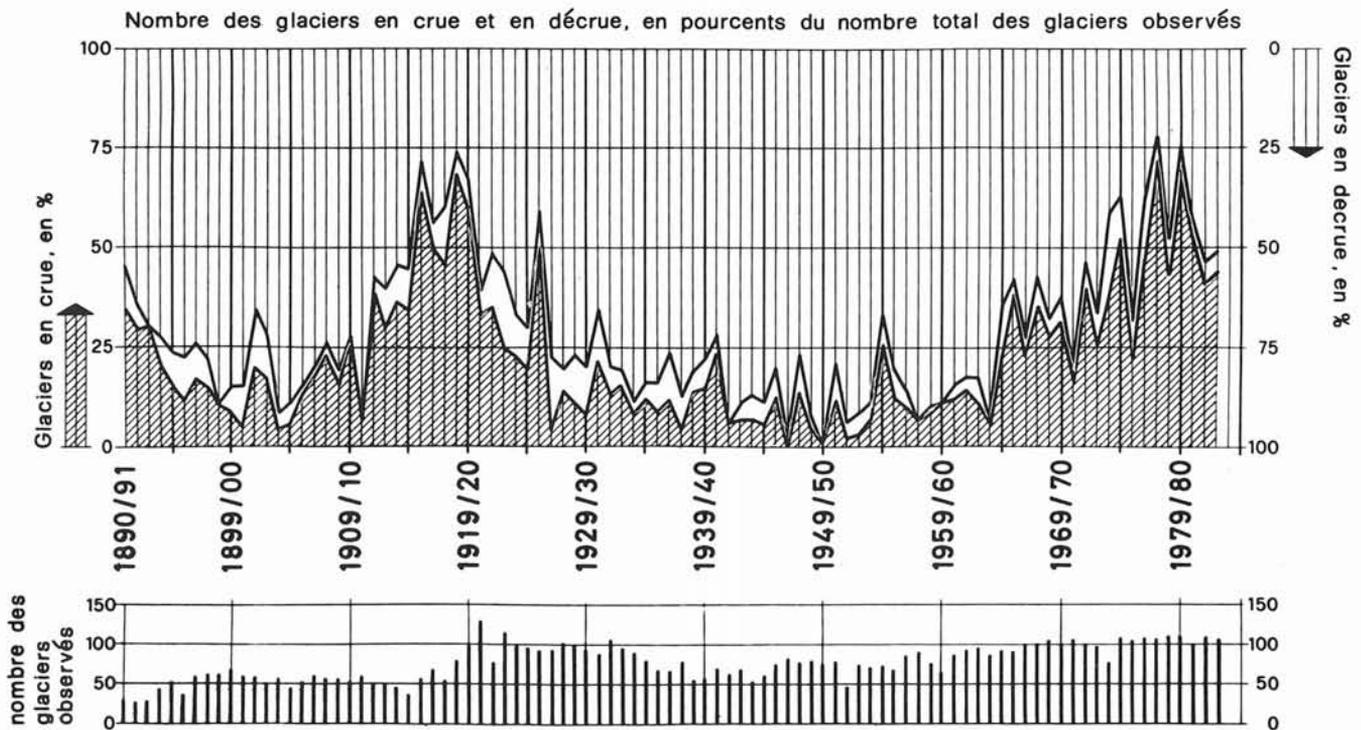


FIG. 3 - Variations de la position des fronts glaciaires dans les Alpes suisses 1890/91 - 1982/83.

tuées entre les bords du glacier actuel et le sommet des moraines latérales, qui marquent le niveau, que la glace a atteint vers 1850. En général, l'abaissement est bien plus prononcé vers l'extrémité que dans les parties hautes du glacier. L'exemple présenté dans la fig. 5 se réfère au Grand Glacier d'Aletsch, où ce phénomène est observé, depuis une quarantaine d'années, par des mensurations terrestres annuelles. Par rapport au niveau de référence, qui est donné par le levé photogrammétrique terrestre de 1926/27, le niveau de la surface glaciaire s'est abaissé de 5-10 m dans les parties hautes du névé (points de référence P 3 et P 5), de 30-40 m dans les environs de la ligne d'équilibre et dans les parties hautes de la langue (profils transversaux Firn et Konkordia), de 50-70 m dans les secteurs du Lac de Märjelen et de l'Eggishorn (profils transversaux Märjelen et Rotloch) et de près de 180 m, soit de plus de 3 m par an, en moyenne de 56 années, dans la partie terminale de la langue (profil transversal Aletschwald). Durant la même période, le front glaciaire, en reculant sur une distance de 1,2 km, s'est élevé en altitude de 1 453 à 1 511 m s.m.

La fig. 6 montre (en haut), outre les variations annuelles, les fluctuations saisonnières du niveau de la surface glaciaire, observées au point de référence P 3, depuis 1941. Elles sont comparées avec (en bas) les variations annuelles et mensuelles des réserves en eau du bassin de la Massa, telles qu'elles résultent des bilans hydro-

logiques, établis à partir des mesures des précipitations et des débits. On notera, que le niveau minimal du névé a été atteint en 1950, tandis que la masse totale du glacier a continué de diminuer jusqu'en 1964 et, après une douzaine d'années à variations faibles, a rapidement augmenté depuis 1976. Néanmoins, la partie terminale de la langue glaciaire a continué de diminuer sans cesse, quoique moins vite, en longueur et en épaisseur. Par contre, au glacier voisin de Fiesch on a constaté un épaissement remarquable de la langue. Ce gonflement, qui est près d'arriver au front, laisse prévoir une crue imminente de ce glacier qui, après l'Aletsch et le Gorner, est le plus grand glacier des Alpes suisses.

#### LES VARIATIONS DU CLIMAT

L'évolution des conditions climatiques durant les dernières 150 années est illustrée dans la fig. 7 par quelques données, observées à Genève, dès 1835. Dans la partie haute de la figure, les précipitations annuelles et les températures estivales sont représentées par leur écart annuel de la moyenne 1835/1978. Dans la partie basse, les variations annuelles de ces données ont été lissées par les valeurs moyennes glissantes sur 5 ans. L'exemple choisi est l'une des séries d'observations climatologiques les plus longues et les plus homogènes de la Suisse.

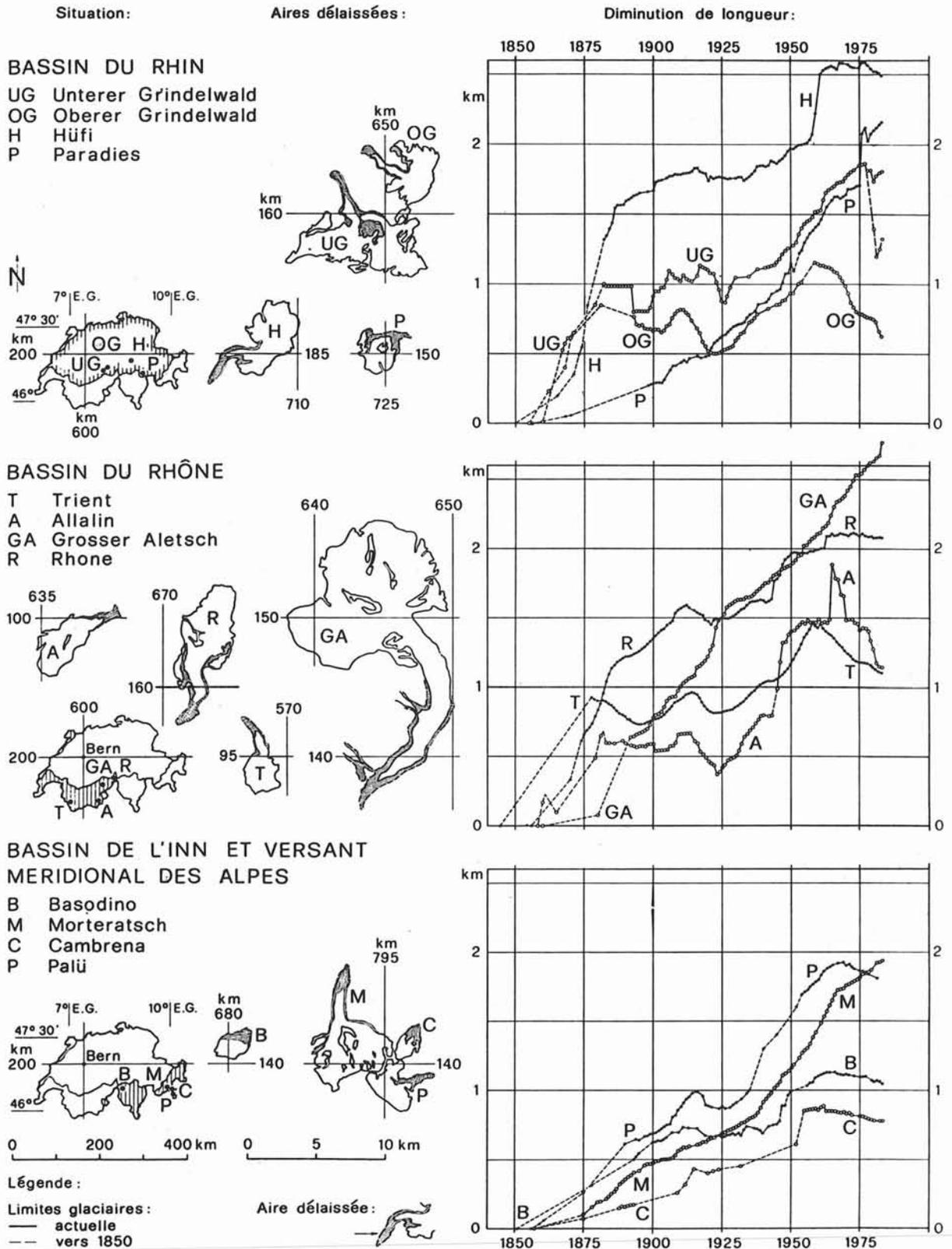


FIG. 4 - Variations de longueur de quelques glaciers suisses depuis leur dernière étendue maximale (vers 1850).

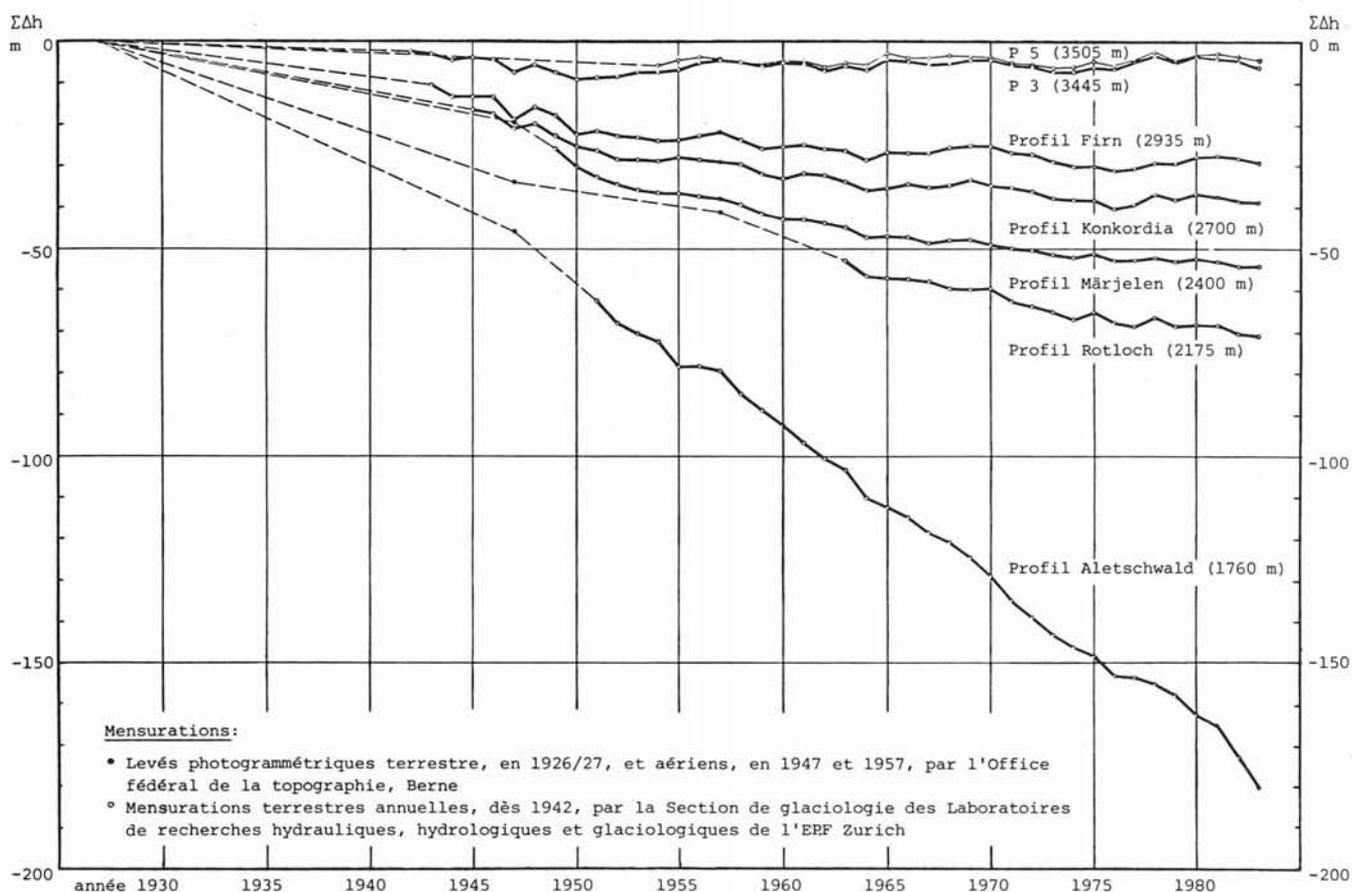


Fig. 5 - Grand Glacier d'Aletsch. Variations du niveau de la surface, cumulées dès 1927, dans 2 points balisés (P 3 et P 5) de la zone d'accumulation et dans les 5 profils transversaux de la zone d'ablation.

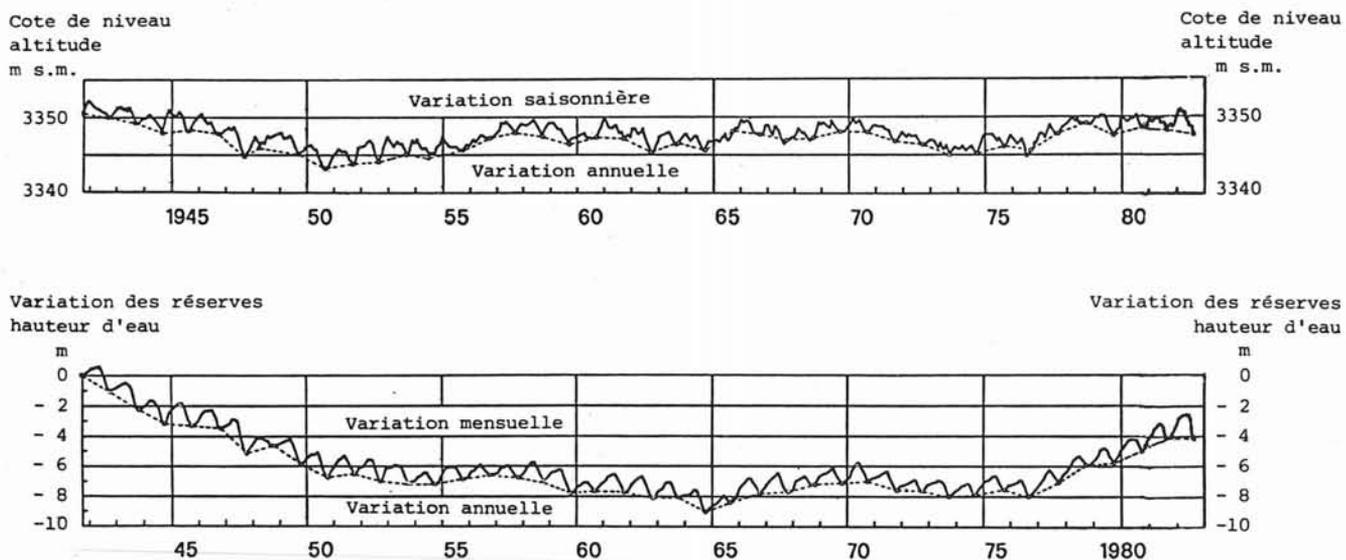
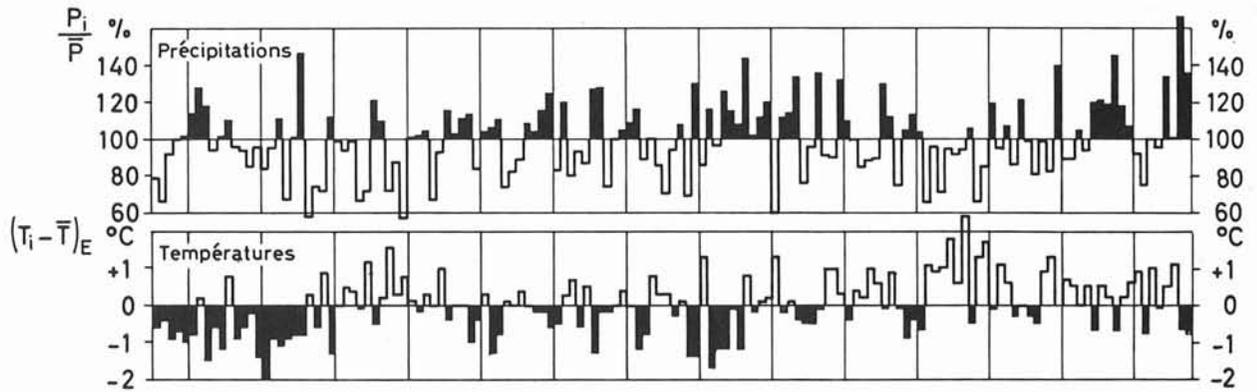


Fig. 6 - *En haut*: Variations saisonnières et annuelles du niveau de la surface glaciaire du Jungfraufirn (Grand Glacier d'Aletsch), observées au point balisé P 3 (3 350 m s.m.), de 1941 à 1982. *En bas*: Variations mensuelles et annuelles des réserves en eau du bassin versant de la Massa (glaciers de la région d'Aletsch), de 1941 à 1982 (années hydrologiques du 1<sup>er</sup> Octobre au 30 Septembre).

Écarts de la valeur moyenne 1835/36 ÷ 1977/78 .



Écarts des moyennes glissantes sur 5 ans de la valeur moyenne 1835/36 ÷ 1977/78 .

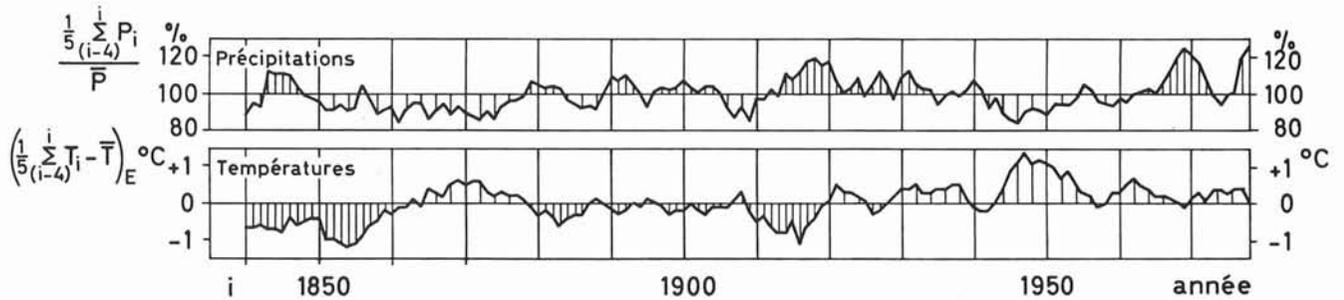


FIG. 7 - Variations de la somme des précipitations annuelles et de la moyenne des températures estivales mesurées à Genève (405 m s.m.), période 1835/36 ÷ 1977/78. Valeurs moyennes 1835/36 ÷ 1977/78: précipitations annuelles,  $P = 884$  mm; températures estivales (mois de Mai à Septembre)  $T_E = 16,9$  °C.

En comparant les périodes respectives, qui précèdent les crues glaciaires vers 1850, 1890, 1920 et 1980, on constate, que la dernière se distingue par l'augmentation plus prononcée des précipitations et par l'abaissement moins prononcé des températures. La conclusion suggérée par ces faits, que la crue la plus récente des glaciers des Alpes soit due plutôt à une augmentation des précipitations, soit de la substance nourritrice, qu'à une amélioration des conditions de conservation par un refroidissement de l'atmosphère, est confirmée par bien d'autres observations, climatologiques et glaciologiques, faites aux lieux plus proches des régions englacées, soit aux stations météorologiques de montagne, soit sur les glaciers mêmes.

RÉFÉRENCES

Rapports annuels sur « *Les variations (périodiques) des glaciers (des Alpes) suisses* », 1 (1880)-104 (1983), édités par FOREL F. A. (1-14), dès 1894 par la Commission des Glaciers de la SHSN (15-104), publiés dans « *Echo des Alpes* », 17 et 18,

Genève, 1881 et 1882 (1 et 2), « *Jahrbuch des Schweizer Alpenklub* » (Annuaire du Club Alpin Suisse), 18-58, Berne, 1883-1924 (3-44), « *Die Alpen/Les Alpes* », 1-59, Berne, 1925-1984 (45-104).  
 MERCANTON P.-L. (1916) - *Mensurations au Glacier du Rhône*. Nouv. Mém. Soc. Helv. Sc. Nat., 52.  
 Rapports annuels (dits « *Firnberichte* ») sur « *Der Firnzuwachs pro 19... in einigen schweizerischen Firngebieten* », 1 (1914) - 64 (1977), édités par la Commission des Glaciers Zurichoise (1-33), l'Institut Suisse de Météorologie à Zurich (34-60) et LEMANS A., Zurich (61-64), publiés dans l'annuaire « *Ski* », 1914-1920 (1-7) et dans « *Vierteljahr. Naturf. Gesell. Zürich* », 62 (1922) - 123 (1978).  
 KASSER P. (1981) - *Rezente Gletscheränderungen in den Schweizer Alpen*. Jahrb. Schweiz. Naturf. Gesell., Wiss. Teil, 1978, Birkhäuser Verlag Basel, 106-138.  
 RÖTHLISBERGER H. (1981) - *Eislawinen und Ausbrüche von Gletscherseen*. Jahrb. Schweiz. Naturf. Gesell., Wiss. Teil, 1978, Birkhäuser Verlag Basel, 170-212.  
 MÜLLER F., CAFLISCH T. & MÜLLER G. (1976) - *Firn und Eis der Schweizer Alpen. Gletscherinventar*. Geogr. Inst. ETH Zürich, Publ. 57.  
 UFFICIO NAZIONALE SVIZZERO DEL TURISMO (éd. 1981) - *La Svizzera e i suoi ghiacciai. Dall'epoca glaciale fino ai nostri giorni*. Edizioni Trelingue Lugano-Porza.