

Les variations des glaciers suisses en 1974-1975 et quelques indications sur les résultats récoltés pendant la Décennie Hydrologique Internationale de 1964-65 à 1973-74

PAR

P. Kasser

ET

M. Aellen

Laboratoires de Recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques
de l'École Polytechnique Fédérale à Zurich

1. Introduction

Les raisons suivantes ont incité à une analyse préliminaire des variations en 1974/75 des glaciers des Alpes suisses :

- Pour la première fois depuis 1925/26, plus de la moitié des glaciers observés est en crue.
- Le fait qu'en 1974/75 on dispose en même temps d'un d'un nombre considérable de glaciers en crue et de glaciers en décrue devrait permettre d'étudier les relations entre le signe de la variation et quelques paramètres morphologiques.
- Les questions citées ci-dessous sont importantes à la fois pour la mise en valeur des ressources hydrauliques et pour des problèmes de sécurité.

Le nombre croissant de glaciers en crue signifie-t-il que la longue période de récession soit terminée ? Les glaciers sont-ils actuellement plus ou moins en équilibre avec le climat ? Est-ce qu'une période de crue a déjà commencé ?

2. Le réseau d'observations et les résultats des mensurations en 1974/75

2.1. Le réseau d'observations

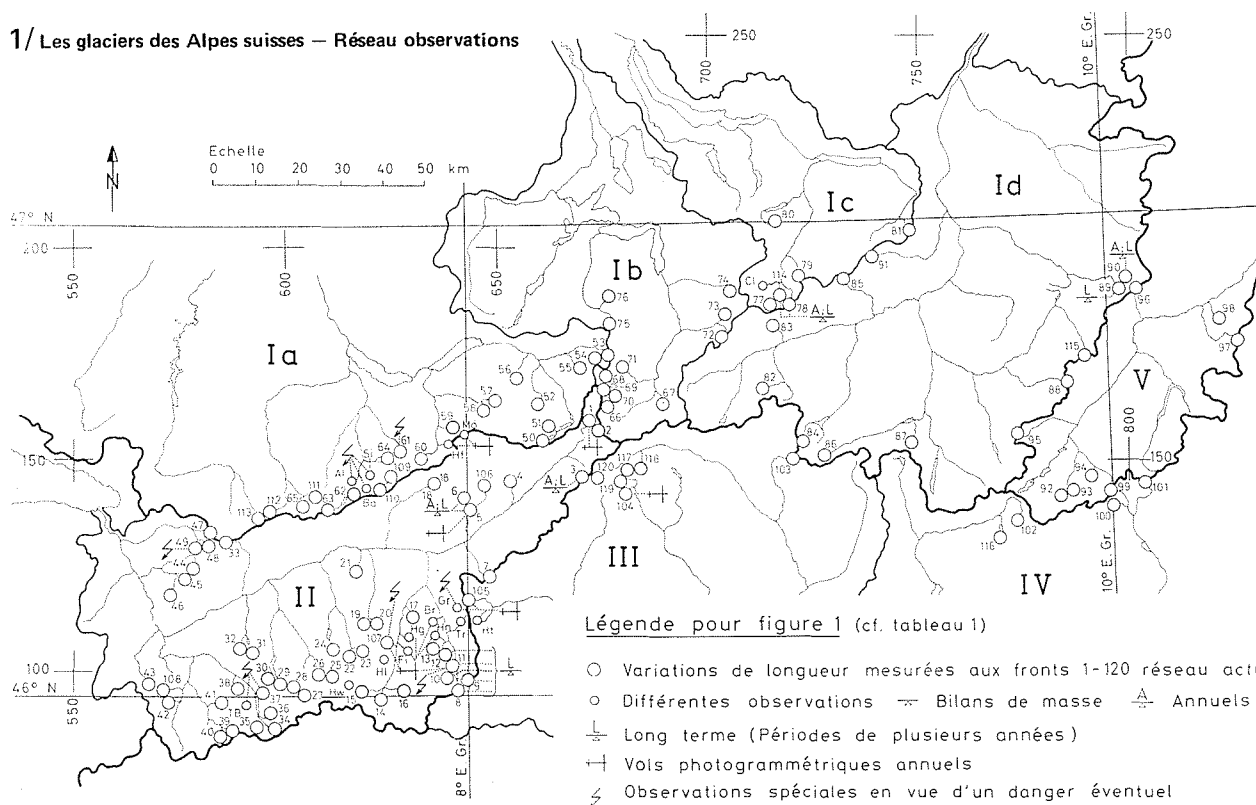
Le réseau d'observations fondé en 1880 par F.A. Forel et développé depuis 1893 sous la responsabilité de la Commission des glaciers de la Société Helvétique des Sciences Naturelles avec le concours des Services Forestiers est présenté à la figure 1. Les noms des glaciers qui corres-

pondent aux numéros d'identification de la figure 1 se trouvent à la colonne Gl. du tableau 1. Durant les décennies, le réseau a subi de nombreuses modifications. Il comprend actuellement 115 glaciers dont on observe les variations annuelles de longueur. Pour quatre glaciers, les bilans annuels de masse sont également mesurés (v. tableau 2b). Pour l'ensemble des glaciers dans le bassin versant de la Massa, soit les glaciers d'Aletsch, les bilans sont déterminés par les bilans hydrologiques ; pour les trois autres glaciers, on mesure les bilans spécifiques annuels au moyen de balises d'accumulation et de balises d'ablation plantées à la surface du glacier. Des vols photogrammétriques répétés permettent de constater pour un certain nombre de glaciers les variations de volume et de surface en fonction de l'altitude pour des périodes de plusieurs années. Citons enfin les observations spéciales faites à différents glaciers en vue d'un danger éventuel.

2.2. Les variations de longueur et les bilans de 1974/75

Le tableau 1 contient les valeurs des variations de longueur mesurées aux différents glaciers en 1973/74 et en 1974/75. Pour l'année 1974/75, la récapitulation du tableau 2a montre 56 glaciers en crue, 11 glaciers stationnaires et 40 glaciers en décrue. Le rapport des glaciers en crue et en décrue varie avec la région. Dans les bassins versants de la Reuss, de la Limmat et du Tessin presque tous les glaciers ont avancé, tandis que dans le bassin du Rhône, le nombre des glaciers en décrue a dépassé un peu celui des glaciers croissants. Il semble que ce comportement différent provienne surtout des propriétés morphologiques régionales des glaciers observés.

1/ Les glaciers des Alpes suisses – Réseau observations



Liste des glaciers du réseau d'observations avec quelques paramètres morphologiques et les variations de longueur en 1973/74 et 1974/75 (v. fig. 1)

Tableau 1

no.		glacier	paramètres morphologiques				variations de longueur en	
Gl.	Inv.		S km ²	α %	A _f m.s.m.	expo- sition	1973/74 m	1974/75 m
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(8)
<i>Bassin versant du Rhône</i>								
1	B 43/3	Rhône	17.38	14.5	2140	S	+ 2.8	+ 17.0
2	B 44/3	Mutt	0.57	38.2	2580	NW	+ 2.1	+ 3.4
3	B 45/4	Gries (Aegina)	6.60	15.8	2380	NE	- 6.7	- 6.2
4	B 40/7	Fiescher	33.06	16.0	1640	S	- 23.8	- 30.1
5	B 36/26	Grosser Aletsch	86.76	10.6	1520	S	- 40.5	- 2.0
106	B 36/21	Mittelaletsch	8.50	32.9	2260	SE	- 10.6	- 4.6
6	B 36/1	Oberaletsch	21.71	18.5	2180	SE	- 7.9	st
7	B 47/4	Kaltwasser	1.85	46.2	2620	W	n	st
8	B 52/20	Tälliboden	0.26	37.5	2640	NW	- 0.2	+ 8.6
9	B 52/17	Ofental	0.40	40.0	2660	N	n	n
10	B 52/24	Schwarzberg	6.20	21.4	2660	NE	- 1.0	+ 8.3
11	B 52/29	Allalin	9.94	28.6	2340	E	+ 10.8	+ 44.0
12	B 52/33	Kessjen	0.61	42.2	2840	NE		+ 4.7 ^{2a}
13	B 53/4	Fee (Nord)	16.66	45.5	2040	NE	+ 17.0	+ 15.0
14	B 56/7	Gorner	68.86	17.6	2120	NW		- 62.6 ^{2a}
15	B 57/5	Zmutt	16.98	22.5	2280	E	- 32.0	- 6.2
16	B 56/3	Findelen	19.09	20.2	2320	W		- 34.7 ^{2a}
107	B 58/8	Bis	4.79	64.2	2060	E	+ x	+ x
17	B 54/3	Ried	8.26	35.2	2060	NW	- 9.1	- 4.5
18	B 31/4	Lang	10.03	22.9	2140	SW		- 38.0 ^{2a}
19	B 60/9	Turtmann-West	6.98	33.7	2260	N	+ 5.5	+ 13.3
20		Brunegg	6.12	35.9	2440	NW	- 1.6	st
21	B 61/2	Bella Tola	0.31	50.0	2680	N	+ 0.6	+ 18.3
22	B 63/5	Zinal	16.24	26.8	2000	N	+ 33.0	- 82.0
23	B 62/10	Moming	5.77	42.1	2460	NW	+ x	- 6.3
24	B 64/2	Moiry	6.11	25.0	2420	N		- 2.0 ^{2a}

no.		glacier	paramètres morphologiques				variations de longueur en	
Gl.	Inv.		S km ²	α %	A_f m.s.m.	expo- sition	1973/74 m	1974/75 m
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(8)
<i>Bassin versant du Rhône</i>								
25	B 72/11	Ferpècle	9.79	25.3	2140	N		+ 1.8 ^{2a}
26	B 72/15	Mont Miné	10.89	21.5	1980	N	+ x	+ x
27	B 73/14	Bas d'Arolla	6.02	27.6	2140	N	+ 7.0	+ 16.0
28	B 73/16	Tsidjiore Nouve	3.12	30.0	2280	NE	+ 8.0	+ 13.0
29	B 74/8	Cheillon	4.73	29.0	2660	N		- 58.3 ^{2a}
30	B 74/11	L'En Darrey	1.86	47.5	2560	NE		- 52.7 ^{2a}
31	B 75/6	Grand Désert	1.85	20.9	2760	N		- 35.0 ^{2a}
32	B 75/9	Mont Fort	0.46	34.3	2800	NE		- 5.6 ^{2a}
33	B 22/1	Tsanfleuron	3.78	16.1	2440	E	st.	- 7.0
34	B 82/27	Otemma	16.55	15.8	2460	SW		- 97.0 ^{2a}
35	B 82/36	Mont Durand	7.59	32.0	2280	E	st.	- 10.0
36	B 82/19	Breney	9.80	19.7	2560	SW		- 33.0 ^{2a}
37	B 82/14	Giétro	5.94	23.7	2540	NW	st.	+ 5.3
38	B 83/3	Corbassière	17.44	21.2	2220	N	- 12.0	+ 9.0
39	B 84/15	Valsorey	2.34	32.2	2400	N		+ 10.2 ^{2a}
40	B 84/17	Tseudet	1.73	40.7	2500	N		- 22.0 ^{2a}
41	B 84/4	Boveyre	1.99	40.0	2620	NW		+ 11.0 ^{3a}
42	B 85/16	Saleina	5.03	33.1	1760	NE		+ 33.5 ^{2a}
43	B 90/2	Trient	6.58	33.8	1800	N	+ 12.6	+ 10.0
44	B 17/2	Paneyrosse	0.45	51.4	2400	N	st.	- x
45	B 17/3	Grand Plan Névé	0.20	50.0	2360	N	st.	st.
46	B 17/8	Martinets	0.59	30.0	2140	NE	st.	st.
47	B 16/1	Sex Rouge	0.72	25.0	2660	NW	st.	+ 2.8 ^{3a}
48	B 16/3	Prapio	0.37	55.6	2500	NW		- 2.0 ^{3a}
49	B 16/5	Pierredar	0.67	58.0	2380	N	+ 15.0	- x
<i>Bassin versant de l'Aar</i>								
50	A 54g/3	Oberaar	5.23	21.5	2300	E	- 24.0	- 6.9
51	A 54g/11	Unteraar	28.41	16.1	1900	E	- 13.5	- 14.4
52	A 54i/5	Gauli	13.70	21.5	2140	E	- 21.5	- 8.8
53	A 54e/12	Stein	6.52	32.8	1960	N		+ 37.0 ^{2a}
54	A 54e/13	Steinlimmi	2.21	43.0	2140	N		+ 8.5 ^{2a}
55	A 54e/24	Trift	17.07	23.4	1720	NW	- 5.0	st.
56	A 54j/2	Rosenloui	6.20	35.4	1860	NE	- 15.0	n
57	A 54l/4	Oberer Grindelwald	10.07	45.5	1240	NW	+ 35.0	+ 17.0
58	A 54l/19	Unterer Grindelwald	21.71	31.6	1260	N	- x	- x
59	A 54m/3	Eiger	2.27	73.1	2200	NW		+ 24.9 ^{3a}
60	A 54m/21	Tschingel	6.18	33.2	2240	NE	st.	+ 7.6
61	A 55a/4	Gamchi	1.73	31.9	1980	N	+ 4.3	+ 8.6
109	A 55b/13	Alpetli	14.02	13.8	2320	SW	- 0.7	+ 2.3
110	A 55b/16	Lötschen	0.91	28.0	2320	N	- x	n
62	A 55c/5	Schwarz	1.60	36.9	2220	NW	- 1.7	+ 0.8
63	A 55c/13	Lämmern	3.35	28.0	2540	E	- 2.0	+ 4.0
64	A 55b/2	Blümlisalp	2.98	50.3	2200	NW	+ 5.0	n
111	A 55f/1	Ammerten	1.89	31.4	2360	NW		+ 7.5 ^{2a}
65	A 55f/3	Rätzli	9.80	16.0	2320	NW		- 13.0 ^{2a}
<i>Bassin versant de la Reuss</i>								
66	A 51e/37	Tiefen	3.17	27.1	2480	SE	+ 3.7	+ 3.0
67	A 51e/12	St. Anna	0.44	35.6	2580	N	- 0.5	+ 8.0
68	A 51f/15	Chelen	3.15	39.4	2120	SE	+ 10.3	+ 16.5
69	A 51f/13	Rotfirm (Nord)	1.21	59.1	2000	NE	- 6.0	+ 4.5
70	A 51f/10	Damma	6.32	44.8	2040	NE	+ 2.2	+ 13.8
71	A 51f/24	Wallenbur	1.70	46.4	2260	SE	- 0.2	+ x
72	A 51d/15	Brunni	2.99	32.4	2340	NE		- 3.0 ^{3a}
73	A 51d/10	Hüfi	13.73	21.1	1740	SW		+ 5.5 ^{2a}
74	A 51c/2	Griess (Unterschächen)	2.48	83.1	2160	N	- 5.5	st.
75	A 51h/14	Firnälpli-Ost	0.54	63.6	1880	N		+ 49.9 ^{3a}
76	A 51h/2	Griess (Griessen)	1.27	35.4	2420	W		+ 7.0 ^{3a}

no.		glacier	paramètres morphologiques				variations de longueur en	
Gl.	Inv.		S km ²	α %	A_f ms.m.	expo- sition	1973/74 m	1974/75 m
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(8)
<i>Bassin versant de la Limmat</i>								
77	A 50i/12	Biferten	2.86	41.4	1880	NE		+ 9.0 ^{2a}
78	A 50i/6	Limmern	2.39	40.0	2260	E	- 2.3	+ 9.0
114	A 50i/7	Plattalva	0.73	38.2	2560	E	st.	+ 6.3
79	A 50i/2	Sulz	0.20	40.0	1920	N		+ 3.5 ^{3a}
80	A 50k/4	Glärnisch	2.09	26.1	2320	W		- 3.0 ^{2a}
81	A 50d/1	Pizol	0.31	50.0	2480	N		+ 60.9 ^{2a}
<i>Bassin versant du Rhin (Bodan)</i>								
82	A14f/15	Lavaz	1.76	30.0	2280	N		+ 114.5 ^{4a}
83	A14m/9	Punteglias	0.93	33.0	2340	S		- 16.4 ^{2a}
84	A 14d/17	Lenta	1.38	42.3	2300	N		- 12.0 ^{3a}
85	A 14p/1	Vorab	2.51	19.0	2580	E	+ 2.3	st.
86	A 13n/6	Paradies	4.60	28.9	2360	NE	- 10.6	- 4.5
87	A 13i/2	Suretta	1.17	45.0	2240	N	+ 12.0	+ 147.0
88	A 12e/4	Porchabella	2.59	28.0	2620	N		- 80.5 ^{3a}
115	A 12d/3	Scaletta	0.66	54.5	2500	N	n	?
89	A 10g/8	Verstankla	1.06	33.0	2400	NW	+ 1.5	+ 8.8
90	A 10g/5	Silvretta	3.25	20.6	2440	W	+ 2.7	+ 7.2
91	A 15b/4	Sardona	0.84	49.1	2480	E		+ 15.8 ^{3a}
<i>Bassin versant de l'Inn</i>								
92	E 23/11	Roseg	8.72	26.5	2180	N	- 113.6	- 16.0
93	E 23/6	Tschierva	6.83	36.4	2180	NW	+ 56.4	- 3.1
94	E 22/3	Morteratsch	17.15	25.6	2100	N	- 13.9	- 15.6
95	E 35/17	Calderas	1.12	29.0	2720	NE	- 23.5	?
96	E 50/7	Tiatscha	2.11	28.3	2500	S	+ 15.0 ^{2a}	+ 1.2
97	E 03/4	Sesvena	0.67	35.0	27.20	N	- 3.5	+ 0.6
98	E 02/6	Lischana	0.21	46.7	27.40	NW		- 12.0 ^{2a}
<i>Bassin versant de l'Adda</i>								
99	C 93/9	Cambrena	1.72	38.4	2500	NE		+ 2.0 ^{3a}
100	C 93/4	Palü	6.62	38.5	2320	E		+ 30.4 ^{3a}
101	C 95/1	Paradisino	0.55	38.0	2800	W	n	n
102	C 83/12	Forno	8.74	17.4	2180	N		- 14.0 ^{2a}
<i>Bassin versant du Tessin</i>								
120	C 34/1	Corno	0.27	54.3	2500	N		+ 10.0
117	C 33/8	Valleggia	0.59	35.0	2400	NE	- 3.9	+ 10.0
118	C 33/4	Val Torta	0.17	43.3	2480	N	- 24.5	+ 20.0
103	C 44/2	Bresciana	0.87	53.3	2760	W	n	n
104	C 14/10	Basodino	2.30	48.8	2440	NE		+ 4.6 ^{2a}
105	C 02/4	Rossboden	1.89	50.8	2020	NE	± 2.0	- 5.3

Remarques :

(1) Le n° Gl est le numéro du glacier dans le réseau d'observations de la Commission des Glaciers de la Société helvétique des sciences naturelles et des Laboratoires de Recherches hydrauliques, hydrologiques et glaciologiques de l'EPF Zurich. Les n°s Gl. correspondent aux numéros de la figure 1.

(2) Le n° Inv. est le numéro du glacier dans l'inventaire des glaciers suisses élaboré par l'Institut de Géographie de l'EPF Zurich. Les périmètres des glaciers Inv. B 60/9, A 54e/12 et A 54e/13 ne correspondent pas à ceux des glaciers G1 19, 20, 53 et 54.

(3) Nom du glacier dans le réseau Gl.

(4) S = surface du glacier

(5) α = pente moyenne

(6) A_f = altitude du front

(7) Exposition de la zone d'ablation

(8) Si la valeur de la variation est valable pour une période de plusieurs années, on a noté le nombre d'années comme suit :

Exemple : Gl. 14 : - 31.3^{2a} = recul de 31.3 mètres en 2 ans.

st. = stationnaire.

+ = en crue

- = en décrue

x = valeur non chiffrée

n = non observé

? = résultat incertain

Variations de longueur des glaciers suisses en 1974/75				Tableau 2a		
Récapitulation						
Bassin versant	Nombre de glaciers					
	du réseau	non observés	avec résultat incertain	en crue	stationnaires	en décrue
Rhône	51	1	0	21	5	24
Aar	19	3	0	9	2	5
Reuss	11	0	0	9	2	0
Limmat	6	0	0	5	0	1
Rhin (Bodan)	11	0	1	5	1	4
Inn	7	0	1	1	1	4
Adda	4	1	0	2	0	1
Tessin	6	1	0	4	0	1
Total	115	6 (1)	2 (2)	56 (3)	11 (4)	40 (5)

Remarques : Les notes (1) à (5) se réfèrent aux glaciers qui ont les numéros suivants (v. tableau 1) :

(1) 9 56 64 101 103 110

(2) 95 115

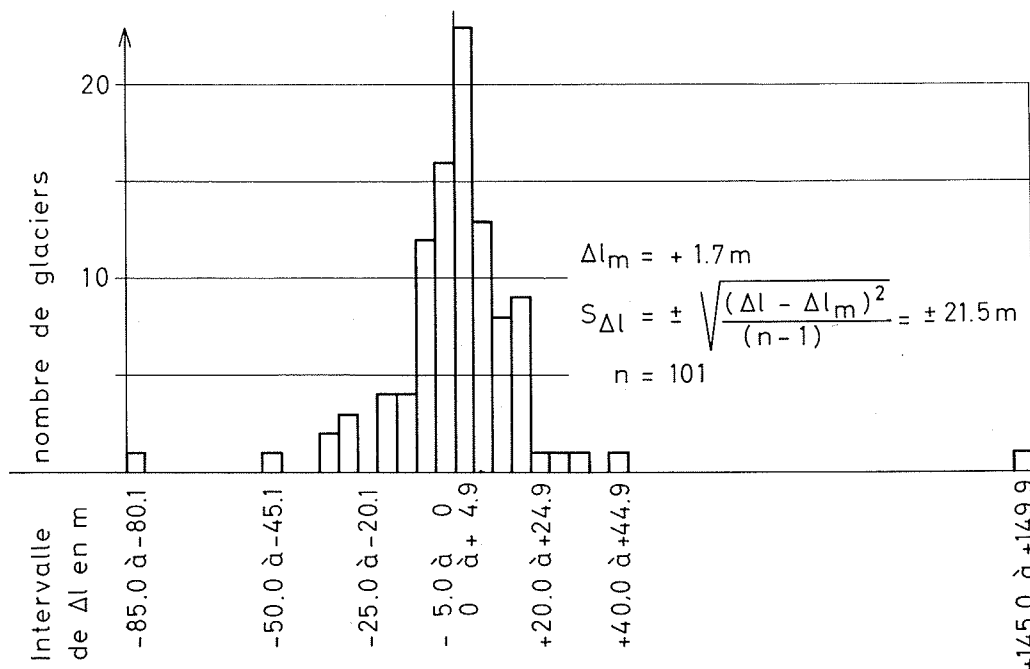
(3) 1 2 8 10 11 12 13 19 21 25 26 27 28 37
 38 39 41 42 43 47 53 54 57 59 60 61 63 66
 67 68 69 70 71 73 75 76 77 78 79 81 82 87
 89 90 91 96 99 100 104 107 109 111 114 117 118 120

(4) 6 7 20 45 46 55 62 72 74 85 97

(5) 3 4 5 14 15 16 17 18 22 23 24 29 30 31
 32 33 34 35 36 40 44 48 49 50 51 52 58 65
 80 83 84 86 88 92 93 94 98 102 105 106

A la figure 2, la fréquence des variations de longueur des glaciers en 1974/75 est reportée par classes de 5 mètres. On a considéré tous les 101 glaciers dont on dispose de chiffres pour la variation. Dans le cas où on ne connaît que la variation totale en plusieurs années, on l'a répartie en parts égales sur chaque année. Les variations d'environ deux tiers des fronts glaciaires sont si-

tuées entre - 10 mètres et + 10 mètres. La variation moyenne de longueur des 101 glaciers est de + 1,7 mètres. Cette valeur dévie de celle de + 5,6 mètres indiquée au tableau 6a et calculée pour un échantillon de 56 glaciers seulement. Au tableau 6a on avait éliminé tous les résultats influencés par un lac artificiel et tous ceux qui sont valables pour une période de plusieurs années.



2/ Fréquence des variations Δl de longueur des glaciers des Alpes suisses en 1974/75

Les bilans de masse spécifiques annuels de 1974/75 présentés au tableau 2b sont tous positifs, avec des valeurs 28,0 gr cm⁻² à 79,1 gr cm⁻².

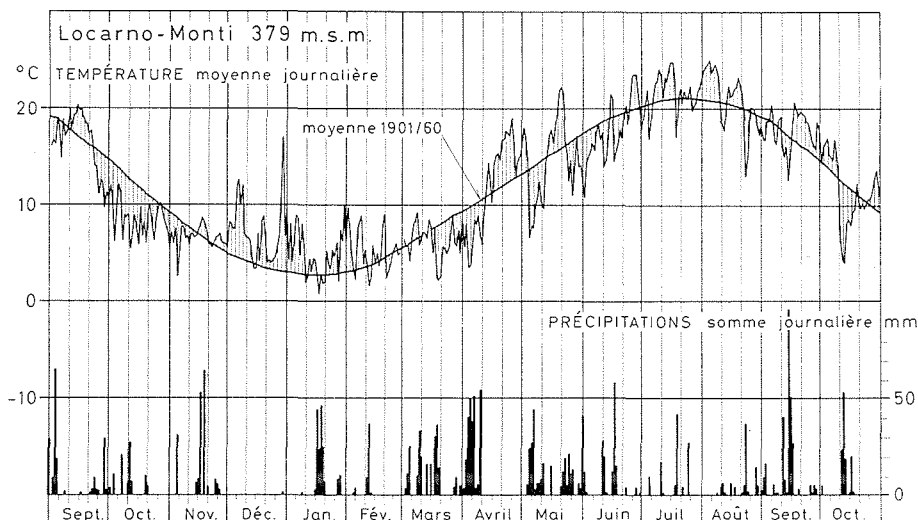
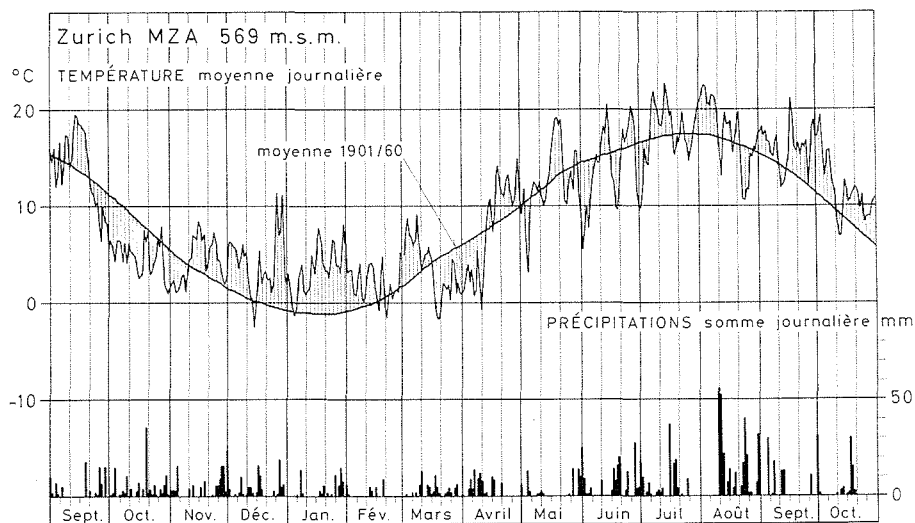
2.3. Conditions climatiques en 1974/75

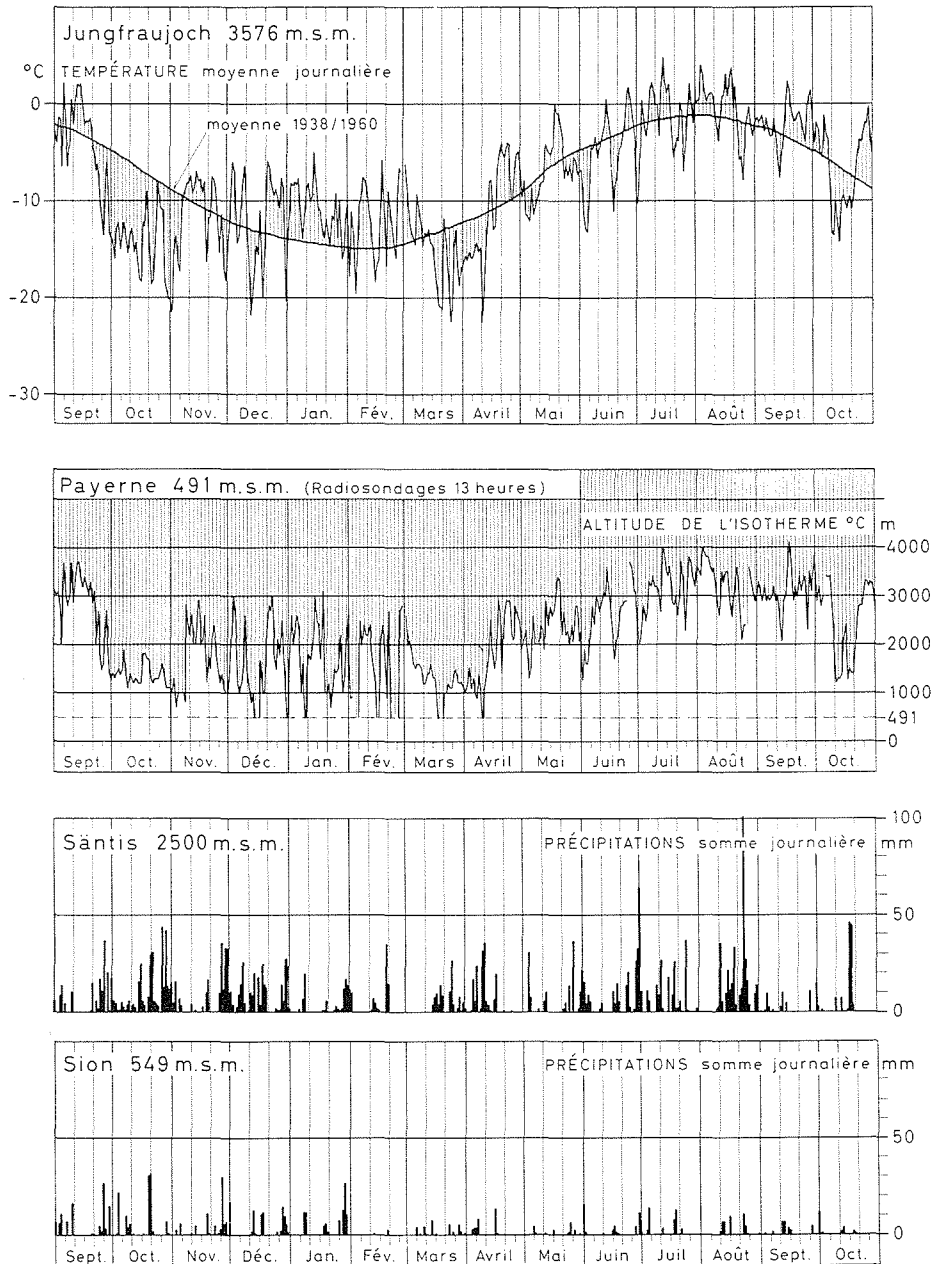
La figure 3 reflète l'évolution du temps au cours de l'année, représentée sous forme graphique. Pour Zurich, Locarno-Monti et Jungfrauoch, on a reporté les moyennes journalières de la température avec la courbe des moyennes

pluriannuelles ; les hauteurs de pluie sont données pour Zurich, Locarno-Monti, le Sântis et Sion. En outre, les sondages aérologiques de Payerne (à 13 heures) permettent d'indiquer l'altitude de l'isotherme de zéro degré. Les précipitations tombent sous forme de neige à peu près à ce niveau.

En été 1974, la période d'ablation des glaciers prit fin en quelques jours avec les vents de l'ouest du 22 au 26 septembre accompagnés de chutes de neige jusqu'au niveau des langues glaciaires.

Bilans de masse annuels spécifiques en g . cm ⁻² , en 1974/75				Tableau 2b
Glacier	Surface en km ²	Bilan b g . cm ⁻²	Année de bilan	Ligne d'équilibre en m sur mer
3 Gries	6.28	+ 28.0	18.10.74- 6.10.75	2720
5 Aletsch	128.45	+ 55.9	1.10.74-30.09.75	—
78 Limmern et 114 Plattalva	3.29	+ 57.3	3.09.74- 9.09.75	2420
90 Silvretta	3.15	+ 79.1	17.09.74-16.09.75	2580





3/ Température (moyenne journalière), précipitations (somme journalière) et altitude de l'isotherme 0°C (radiosondages 13 h) en 1974/75

Le mois d'octobre a été excessivement froid partout dans les Alpes suisses. Sauf sur le versant sud, il a été riche en précipitations. Les précipitations cumulées d'octobre 1974 à avril 1975 dépassaient les valeurs normales dans toutes les Alpes suisses. Les chutes de neige abondantes du 3 au 7 avril ont été particulièrement remarquables avec leurs valeurs de neige fraîche cumulée jusqu'à 250 cm qui sont tombées dans la région centrale des Alpes où elles ont provoqué des avalanches extraordinaires. De mai à septembre 1975 la somme des précipitations ne déviait que peu des valeurs moyennes. La fonte de la couche de neige fut retardée par des chutes de neige fraîche les 3 et 4 mai, au début du mois de juin, les 18, 19 et 30 juin. L'enneigement continu au Weissfluhjoch (2240 m s.m.) dura 309 jours. Depuis le début de la série d'ob-

servations en 1936 cette valeur a été dépassée seulement en 1973/74 avec une durée de 314 jours. Partout dans les Alpes suisses, les températures moyennes de mai à septembre 1975 ne dévièrent que peu des valeurs normales et il y eut quelques périodes chaudes avec une fonte considérable. La période d'ablation de l'été se termina brusquement avec la dépression sur le centre de l'Europe du 10 au 13 octobre avec des chutes de neige sur les versants nord et sud des Alpes jusqu'à environ 600 m s.m. L'année hydrologique de 1974/75 a été favorable à une augmentation de volume des glaciers suisses. Dans les bassins alpins, la fonte de la couche de neige a compensé plus ou moins le déficit de l'ablation glaciaire, tandis que le débit des bassins sans glaciers dépassait sensiblement les valeurs moyennes.

3. Relations entre les variations de longueur et quelques paramètres morphologiques

3.1. Relations entre les variations de longueur et les aires englacées, les pentes moyennes et l'altitude des fronts

En 1974/75, 56 glaciers observés étaient en crue, 40 en décrue. Ces 96 glaciers ont servi de base pour examiner les relations entre le signe de la variation et les aires englacées, respectivement les pentes moyennes des glaciers ou l'altitude des fronts. Les valeurs des paramètres morphologiques des différents glaciers sont inscrites au tableau 1. Dans le tableau 3a, les glaciers sont groupés d'après leur grandeur, 6 classes de 16 glaciers ont été établies. La classe 1 comprend les glaciers les plus petits, la classe 6 les plus grands. Dans chaque classe, on a compté le nombre de glaciers en crue et en décrue. Le même procédé a été appliqué

au tableau 3b pour les pentes moyennes et au tableau 3c pour l'altitude des fronts. On n'est pas surpris de constater que le nombre de glaciers en crue dépasse le nombre en décrue dans les classes des glaciers petits ou très inclinés, et que le résultat inverse se montre pour les grands glaciers ou pour ceux de faible pente. En ce qui concerne l'altitude des fronts, le tableau 3c ne montre pas de relations évidentes avec les crues et décrues.

Pour un examen statistique on s'est limité à une division en 2 classes par variable, ce qui permet de traiter le problème sans supposer la nature de la loi de distribution. Chacun des 96 glaciers considérés possède les 4 propriétés (variables) signe, surface, pente et altitude du front. On a rangé les signes positifs (les crues) avec la valeur + 1 dans la classe 1, les décrues avec la valeur - 1 dans la classe 2. Des 3 autres variables les grandes valeurs ont été rangées à la classe 1, les petites valeurs à la classe 2. Pour étudier les dépendances totales et partielles entre les variables (problem of association), on a appliqué la méthode des tables de contingence (2 x 2 x 2 x 2 table) décrite par

Relation entre les variations de longueur des glaciers suisses en 1974/75 et les aires englacées, les pentes moyennes et l'altitude des fronts.							Tableau 3
a) Relation variations – aires englacées							
	Nombre de glaciers par classe de grandeur superficie en km ²						Total
	0.17 à 0.67	0.72 à 1.86	1.89 à 3.25	3.35 à 6.58	6.60 à 10.89	13.70 à 86.76	0.17 à 86.76
classe no	1	2	3	4	5	6	1 à 6
en crue	11	11	13	10	6	5	56
en décrue	5	5	3	6	10	11	40
total	16	16	16	16	16	16	96
b) Relation variations – pentes moyennes							
	Nombre de glaciers par classe de pente inclinaison en %						Total
	73.1 à 46.4	45.5 à 38.5	38.4 à 33.0	32.9 à 27.6	27.1 à 21.2	21.1 à 10.6	73.1 à 10.6
classe no	1	2	3	4	5	6	1 à 6
en crue	10	13	12	10	7	4	56
en décrue	6	3	4	6	9	12	40
total	16	16	16	16	16	16	96
c) Relation variations – altitude des fronts							
	Nombre de glaciers par classe d'altitude du front altitude en mètres sur mer						Total
	2840 à 2560	2540 à 2440	2420 à 2320	2320 à 2180	2180 à 2020	2000 à 1240	2840 à 1240
classe no	1	2	3	4	5	6	1 à 6
en crue	9	11	7	10	8	11	56
en décrue	7	5	9	6	8	5	40
total	16	16	16	16	16	16	96

exemple dans le chapitre "categorized data" dans M.G. Kendall and A. Stuart : "The Advanced Theory of Statistics", vol. 2, p. 538 - 556, Griffin, London 1961. D'après cette théorie, on a calculé pour les différents cas les coefficients d'association Q et, avec un test unilatéral, la probabilité de l'erreur (1 - s) de première espèce appartenant à Q ou le niveau de signification (significance level) s de Q. Les coefficients d'association et leur niveau de signification s ont été évalués avec différentes limites entre les classes 1 et 2 des variables surface S, pente α et altitude H. Les chiffres qui accompagnent entre parenthèses les résultats mentionnés ci-dessous de s signifient le nombre de glaciers rangés dans la classe 1 de la variable indiquée. Le coefficient d'association entre la surface S et le signe est significatif au niveau de s = 99,76 % (S 48) et de 97,88 % (S 40). Si l'on ne considère que les fronts à basse altitude, les valeurs de s sont de 98,80 % pour (S 48, H 48) et également de 98,80 % pour (S 40, H 48). Pour l'échantillon qui ne comprend que les fronts à haute altitude, le cas (S 48, H 48) est significatif avec s = 96,74 %. La dépendance entre la pente α et le signe est significative au niveau s de 99,76 % (α 48) et de 99,80 % (α 56). Si l'on ne considère que les fronts à haute altitude, s est de 87,00 % (α 48, H 48) et de 94,78 % (α 56, H 48). Pour les fronts à basse altitude, le coefficient d'association entre la pente et le signe est assuré avec s = 99,43 % (α 48, H 48) et s = 98,42 % (α 56, H 48). La dépendance entre l'altitude H du front et le signe n'est significative que dans les cas où l'on se borne aux petits glaciers avec s = 86,50 % (H 48, S 48) et s = 92,00 % (H 48, S 40) ou aux glaciers à la fois petits et de forte pente avec s = 87,50 % (H 48, S 40, α 56). La dépendance entre surface et pente est significative à presque 100 % (S 48, H 48) ou (S 40, H 48), celle entre pente et altitude du front n'est pas du tout significative. Par contre, la relation entre surface des glaciers et altitude des fronts est significative à un niveau très élevé.

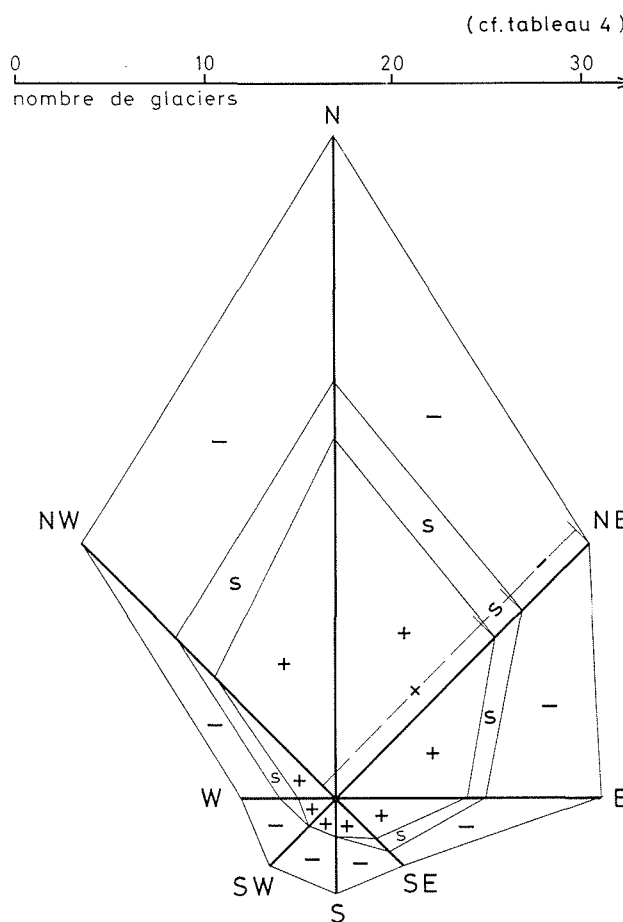
Toutes ces relations sont valables pour les variations de longueur des glaciers suisses observés en 1974/75. Dans ce sens, l'étude présentée ici n'est qu'un essai de décrire les variations d'une année donnée. L'examen des relations pour d'autres années pourrait contribuer à la recherche des facteurs qui conditionnent les variations. Un autre moyen dans ce but serait l'étude des glaciers de comportement exceptionnel qui n'obéissent pas aux règles générales.

3.2. Relations entre les variations de longueur et l'expositions

La distribution du nombre de glaciers en crue, stationnaires et en décrue sur les 8 expositions N, NE,,

NW est représentée au tableau 4 et à la figure 4. L'exposition des différents glaciers reportée dans le tableau 1 a été déterminée pour les zones d'ablation. On a examiné les 107 glaciers dont on connaît pour 1974/75 le signe de la variation de longueur. Environ un tiers des langues glaciaires observées est exposé au nord, à peu près la moitié se répartit sur les trois expositions de NE, E et NW, tandis que chacune des quatre directions SE, S, SW et W ne comprend que 5 glaciers.

La question se pose si le quotient +/- du nombre de glaciers en crue et en décrue dépend de l'exposition. Une difficulté d'en décider réside dans le fait que les quotients pour les directions SE, S, SW et W ne sont guère significatifs, étant donné que les échantillons de ces expositions sont très petits. En outre, on peut attribuer parfois l'exposition d'un glacier aussi bien à une direction qu'à une des



4/ Nombre de glaciers en crue (+), stationnaires (s) et en décrue (-) dans les différentes expositions (année 1974/75)

Relations entre les variations de longueur des glaciers en 1974/75 et l'exposition									Tableau 4
	nombre de glaciers par exposition								
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	Total
en crue	19	12	7	3	2	2	2	9	56
stationnaire	3	2	1	1	0	0	1	3	11
en décrue	13	5	6	1	3	3	2	7	40
Total	35	19	14	5	5	5	5	19	107

directions voisines. Pour ces raisons on a procédé à un lissage en remplaçant les directions par les secteurs. Ceux-ci sont nommés par leur direction centrale et délimités par les deux directions voisines. Pour déterminer le nombre de glaciers en crue ou en décrue par secteur, on a additionné le nombre de glaciers dans les trois directions du secteur, en prenant le poids 1 pour la direction centrale et le poids 0,5 pour les directions marginales du secteur.

Le quotient +/- des sommes pondérées du nombre de glaciers en crue et de glaciers en décrue par secteur est noté au tableau 5 et dessiné à la figure 5 pour les observations de l'année 1974/75. Il est exempt de doute que le quotient varie d'une façon systématique avec l'exposition, montrant un maximum au secteur NE et un minimum au secteur SW. Les crues dominent donc dans le secteur NE et dans les secteurs voisins, les décrues se trouvent de préférence aux secteurs SW et S. Ce résultat est évident, mais pas

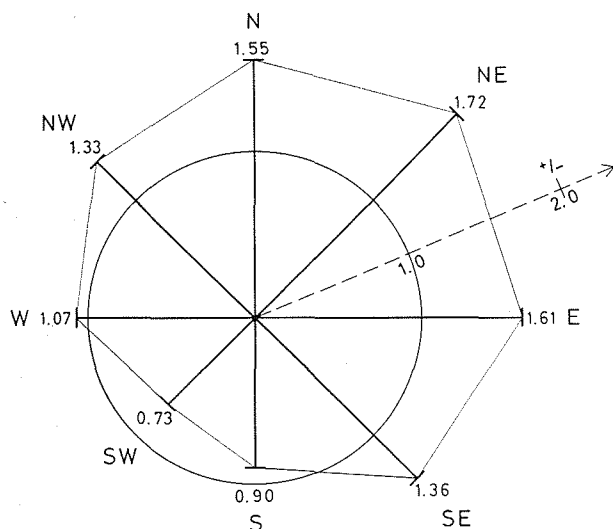
facile à expliquer. Est-ce qu'il y a une concentration de glaciers exposés au nord dans une région, où pendant les dernières années, les conditions climatiques étaient particulièrement favorables aux crues ? Les conditions climatiques de la dernière décennie ont-elles favorisé une avance des glaciers exposés au nord ? On pourrait penser à une fréquence élevée de chutes de neige précoces en été qui ont terminé et raccourci d'une façon extrême la période d'ablation sur les versants nord, tandis que la fonte a fait disparaître la neige fraîche relativement vite aux versants sud, en permettant une continuation importante de la période d'ablation en automne. Quelles sont les conséquences de la longue période de récession des glaciers pour la situation actuelle ? La relation constatée entre le quotient +/- et l'exposition est-elle le résultat de raisons morphologiques ou climatiques ou d'un mécanisme complexe ? L'analyse approfondie reste à faire.

Secteur (1)	Sommes pondérées du nombre de glaciers par secteur (2)			+/-
	+	s	-	
N	29.5	5.5	19.0	1.55
NE	25.0	4.0	14.5	1.72
E	14.5	2.5	9.0	1.61
SE	7.5	1.5	5.5	1.36
S	4.5	0.5	5.0	0.90
SW	4.0	0.5	5.5	0.73
W	7.5	2.5	7.0	1.07
NW	19.5	5.0	14.5	1.33

(1) Le secteur est nommé par sa direction centrale et il est délimité par les deux directions voisines (le secteur NW par exemple est délimité par les directions marginales de W et N).

(2) On a additionné le nombre de glaciers exposés dans les trois directions du secteur, en prenant le poids 1 pour la direction centrale et le poids 0.5 pour les deux directions marginales du secteur.

(cf. remarques au tableau 5)



5/ Quotient +/- du nombre de glaciers en crue et de glaciers en décrue pour les différents secteurs (année 1974/75)

4. Les variations des glaciers suisses pendant la Décennie Hydrologique Internationale de 1964/65 à 1973-74.

Les variations de fronts des glaciers sont le résultat d'une part de la fonte et de l'accumulation aux fronts dans l'année hydrologique considérée, d'autre part du mouvement qui dépend des bilans spécifiques de masse durant une série d'années. Dans le cas de crues extrêmes, le phénomène complexe des "surges" est également à considérer. Pour mieux comprendre le comportement des glaciers dans une année d'observation donnée, il est nécessaire de connaître l'évolution des glaciers dans les années précédentes. A cette fin, les variations de longueur et les bilans ainsi que quelques informations climatiques sont assemblées aux tableaux 6 et 8 et aux figures 6 et 7.

Le pourcentage des glaciers en crue, stationnaires et en décrue est reporté au tableau 6a pour les années de 1963/64 à 1974/75 et à la figure 7 à partir de 1891/92. On constate que 1963/64 était la dernière année d'une

Nombre de glaciers en crue, stationnaires et en décrue, en pourcent du nombre total des glaciers observés ainsi que les variations moyennes de longueur de 1963/64 à 1974/75.									Tableau 6a	
Année	nombre de glaciers					% des glaciers observés			variations moyennes Δl_m de longueur	
	dans le réseau	observés 100 %	en crue +	stationnaires	en décrue -	en crue +	stationnaires	en décrue -	nombre de glaciers	Δl_m
1963/64	105	88	5	1	82	5.7	1.1	93.2	76	- 14.4
1964/65	105	90	22	10	58	24.4	11.1	64.5	72	- 10.2
1965/66	105	91	34	3	54	37.3	3.3	59.4	77	- 2.9
1966/67	105	100	23	3	74	23.0	3.0	74.0	84	- 7.2
1967/68	105	98	35	6	57	35.7	6.1	58.2	89	- 0.4
1968/69	105	103	28	5	70	27.2	4.8	68.0	92	- 7.2
1969/70	105	98	31	6	61	31.6	6.1	62.3	89	- 1.3
1970/71	110	108	17	5	86	15.8	4.6	79.6	92	- 10.2
1971/72	114	100	39	7	54	39.0	7.0	54.0	91	- 2.7
1972/73	114	95	24	8	63	25.3	8.4	66.3	78	- 10.4
1973/74	115	76	30	14	32	39.5	18.4	42.1	65	- 1.8
1974/75	115	107	56	11	40	52.3	10.3	37.4	56	+ 5.6

Les crues des années 1963/64 à 1974/75.						Tableau 6b
Année	Nombre de crues					
	totales	"vraies" (1)	diverses (2)	par allongement (3)	de fronts enneigés (4)	
1963/64	5	5	0	0	0	
1964/65	22	12	5	0	5	
1965/66	34	17	2	14	1	
1966/67	23	18	1	4	0	
1967/68	35	26	4	3	2	
1968/69	28	25	1	2	0	
1969/70	31	24	0	4	3	
1970/71	17	17	0	0	0	
1971/72	39	34	0	3	2	
1972/73	24	23	0	1	0	
1973/74	30	27	0	1	2	
1974/75	56	44	1	6	5	

Remarques :

- (1) Avance due surtout au mouvement.
- (2) Crue due à un mécanisme inconnu.
- (3) Allongement dû à la formation de cônes d'avalanches ou aux accumulations pérennes devant le front.
- (4) Avance d'une langue enneigée.

longue période de récession excessive et qu'avec 1964/65, soit le début de la Décennie Hydrologique Internationale (DHI), un rétablissement des glaciers se manifeste par un nombre croissant de glaciers en crue. L'évolution dans le temps est encore mieux visible au tableau 6b et à la figure 6, où les crues sont classées d'après leur mécanisme. Si l'on ne considère que les "vraies" crues dues surtout au mouvement, l'augmentation du nombre de crues est

encore plus évidente. Mais ce fait ne permet pas de conclure qu'une crue générale ait commencé ou même que les glaciers soient actuellement plus ou moins en équilibre avec le climat. La comparaison des variations moyennes de longueur du tableau 6a avec la fréquence des variations reportée à la figure 2 montre qu'une seule année hostile à la croissance des glaciers suffit pour diminuer sensiblement le nombre de glaciers en crue.

Bilans annuels spécifiques de masse \bar{b} 1963/64 à 1974/75.								Tableau 7
	Sarennes	Aletsch	Gries	Limmern ⁽⁵⁾	Silvretta	Hintereis	Kesselwand	Stub. Sonnb. StS ⁽⁴⁾
	Sa ⁽¹⁾	5 ⁽²⁾	3 ⁽²⁾	78 ⁽²⁾	90 ⁽²⁾	H ⁽³⁾	K ⁽³⁾	
	kg m ⁻²	kg m ⁻²	kg m ⁻²	kg m ⁻²	kg m ⁻²	kg m ⁻²	kg m ⁻²	kg m ⁻²
1963/64	- 1820	- 1269	- 862	- 1833	- 1365	- 1244	- 540	- 932
1964/65	30	1178	925	924	1295	925	1040	1976
1965/66	420	620	- 279	505	1174	344	590	736
1966/67	- 410	296	260	- 363	340	20	300	160
1967/68	340	668	332	397	616	338	460	236
1968/69	- 360	308	269	- 140	- 251	- 430	- 150	- 247
1969/70	- 410	- 124	- 519	- 158	125	- 550	0	144
1970/71	- 1110	- 705	- 1069	- 1336	- 887	- 600	50	- 392
1971/72	- 370	- 218	446	- 245	- 256	- 70	370	128
1972/73	- 670	- 529	- 1116	- 1010	- 1213	- 1230	- 380	- 721
1973/74	- 1600	70	- 159	85	744	60	570	576
1974/75	110	559	280	573	791	60	370	397

Surface englacée en km² :

Glacier	année	km ²	Glacier	année	km ²
Sarennes	1950	0.82	Silvretta	1956	3.33
Aletsch	1927	137.90		1973	3.09
(bassin total de la Massa)	1957	129.76	Hintereis	1964	9.06
	1964	129.40		1975	8.97
	1975	128.45	Kesselwand	1964	4.06
Gries	1961	6.69		1973	4.26
	1971	6.30	Stubacher Sonnblickkees	1964	1.26
Limmern (Plattalva 114, inclus)	1959	3.29		1974	1.76

(1) Rapports de M. Louis de Crécy, Grenoble, aux Séances de la SHF, Section de Glaciologie, 1964 à 1975, et communication personnelle en 1976.

(2) Laboratoires de Recherches hydraulique, hydrologique et glaciologique de l'EPF à Zurich

(3) H. Hoinkes : Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Band VI, Innsbruck 1970.

H. Hoinkes, F. Dreiseitl und H.P. Wagner : "Mass balance of Hintereisferner and Kesselwandferner 1963/64 to 1972/83", IHD-Activities in Austria 1965-1974, Vienna 1974.

Communication personnelle de G. Markl, Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck, en 1976.

(4) Stubacher Sonnblickkees. Communication personnelle de Heinz Slupetzki, Geographisches Institut der Universität Salzburg, en 1976.

(5) Plattalva 114 inclus.

Les variations de longueur sont une information utile pour caractériser l'évolution dans la période d'observation écoulée. Par contre, les bilans annuels spécifiques de masse présentés dans le tableau 7 sont en même temps efficaces pour l'évolution à long terme. Dans le tableau 7, les bilans de 4 glaciers suisses sont reportés et comparés avec les résultats du glacier de Sarennes dans les Alpes françaises et de 3 glaciers des Alpes autrichiennes. La cumulation des bilans annuels de la DHI donne les valeurs suivantes :

Sarennes	- 414 gr cm ⁻²
Aletsch	+ 156 gr cm ⁻²
Gries	- 91 gr cm ⁻²
Limmern	- 134 gr cm ⁻²
Silvretta	+ 169 gr cm ⁻²
Hintereis	- 119 gr cm ⁻²
Kesselwand	+ 285 gr cm ⁻²
Stubacher	
Sonnblickkees	+ 260 gr cm ⁻²

Les bilans des quatre glaciers suisses cumulés sur 10 ans ne dévient que de peu de l'état stationnaire. Pour les an-

nées individuelles, les différences de bilans des glaciers sont compatibles avec les données climatiques des stations voisines présentées sous forme de variables centrées réduites au tableau 8. La conclusion est que pendant la DHI les glaciers des Alpes suisses étaient plus ou moins en équilibre avec le climat, malgré les variations moyennes de longueur des glaciers toujours négatives. Les différences de bilan des glaciers très voisins du Hintereis et du Kesselwand dans le Oetztal sont une indication pour le fait qu'il faut prendre en considération également les propriétés morphologiques responsables pour les temps de réponse des variations des fronts aux bilans. D'après les valeurs de bilans du tableau 6a, on pourrait supposer que pendant la DHI les conditions climatiques étaient plus favorables aux glaciers dans les Alpes orientales que dans les Alpes occidentales, toujours sous réserve de l'influence des paramètres morphologiques qui n'est pas suffisamment étudiée.

A la figure 7, on a reporté les valeurs annuelles des précipitations et de l'écoulement du bassin de la Massa (glaciers d'Aletsch), des bilans spécifiques de masse de huit glaciers ainsi que le pourcentage des glaciers en crue,

Précipitations, Températures et Ecoulements 1963/64 à 1974/75.

Tableau 8

P Précipitations
 T Températures
 E Ecoulements

Variables centrées réduites $\frac{x - \bar{x}}{s_x}$

Les indices de P , T et E signifient les mois.

Année	Variables centrées réduites														
	Berne			Engelberg			St Gallen			Saentis			Sion		
	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}
1963/64	-0.3	-0.8	1.5	-1.3	-1.4	1.1	-0.4	-1.0	1.3	-0.9	-0.8	0.7	-0.9	-1.0	0.9
1964/65	0.6	1.4	-0.8	0.1	-1.3	-1.1	0.6	0.5	-1.3	0.9	1.3	-1.7	-0.2	1.0	-2.2
1965/66	1.6	0.9	0.5	0.7	0.5	0.0	1.1	0.9	0.0	0.7	1.0	-0.6	1.7	1.0	-0.6
1966/67	0.2	-0.7	0.5	0.4	0.3	0.4	0.7	0.7	0.7	0.6	0.2	-0.1	0.5	0.5	-0.3
1967/68	0.6	1.3	-0.6	0.1	0.3	-0.8	0.1	0.0	-0.7	-0.3	0.3	-1.6	-0.2	0.2	-1.4
1968/69	-0.4	-0.6	0.2	-1.0	-0.4	0.0	-1.6	-1.3	0.4	-0.9	-0.5	-0.5	0.0	0.3	-0.8
1969/70	0.8	0.2	0.7	0.4	0.0	0.0	1.6	0.7	0.6	0.3	0.5	-0.1	1.4	1.0	-0.1
1970/71	-0.5	-0.3	-0.2	-1.5	0.1	0.4	-1.0	-1.2	1.1	0.0	-0.2	0.4	-0.8	-0.6	0.1
1971/72	-0.7	-1.2	-1.3	-1.9	-2.0	-2.1	-1.3	-1.4	-1.4	-1.3	-1.4	-1.8	-0.8	-1.6	-2.0
1972/73	0.1	0.4	1.1	-0.5	-0.5	1.1	0.0	-0.6	1.7	-0.3	-0.5	0.8	-0.1	0.1	0.1
1973/74	-0.6	-0.9	-0.2	-1.0	-1.2	-0.7	0.4	0.0	-0.3	0.5	-0.3	-1.2	-0.5	0.2	-1.1
1974/75	0.6	0.2	0.4	0.7	0.2	0.0	0.7	0.7	1.0	-0.1	-0.7	0.3	0.8	0.4	-0.3

Année	Variables centrées réduites															
	Chur			Zermatt			Locarno-Monti			Davos-Platz			Jj ⁽¹⁾	MB ⁽²⁾	RP ⁽³⁾	RR ⁽⁴⁾
	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-9}	P_{10-9}	T_{5-9}	P_{10-4}	P_{10-9}	T_{5-9}	T_{5-9}	E_{10-9}	E_{10-9}	E_{10-9}
1963/64	-0.4	-1.5	1.8	-0.5	-1.0	1.6	1.2	-0.1	1.2	-0.9	-1.7	0.3	1.3	0.3	-1.7	-1.3
1964/65	0.7	2.5	-2.3	-0.5	0.9	-1.6	-1.1	0.1	-1.2	0.3	1.7	-4.4	-1.6	-1.5	-1.5	1.1
1965/66	0.6	1.6	-0.4	1.5	0.3	-1.2	-0.6	-0.6	-0.2	0.5	1.2	-1.3	-0.2	-1.2	0.8	1.6
1966/67	1.7	1.8	0.4	1.2	1.1	-1.5	1.0	0.8	-0.2	1.0	1.1	-0.8	0.2	-0.5	0.2	0.6
1967/68	1.1	1.1	-0.6	-0.7	-0.3	-2.1	0.6	0.7	-1.6	0.9	0.7	-1.7	-1.2	-1.4	-0.8	0.5
1968/69	-0.9	-0.9	0.4	0.7	1.0	-1.5	0.1	0.2	-0.1	-0.9	-0.5	-0.1	0.1	-1.0	-0.5	0.0
1969/70	1.9	1.7	0.3	0.7	0.3	-1.3	-0.3	-0.7	0.3	1.1	1.4	-0.6	-0.1	-0.1	1.1	1.3
1970/71	-0.7	-1.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.2	0.0	-0.2	-0.5	-1.1	0.1	-0.2	-0.2	-1.1	-1.1
1971/72	-1.5	-2.2	-1.6	0.1	0.0	n	0.5	-0.2	-1.9	-1.5	-2.0	-2.4	-1.8	-1.5	-2.4	-1.8
1972/73	-0.2	-0.5	1.1	-1.3	-0.2	n	-1.1	-1.1	0.8	-0.5	-0.3	0.5	0.8	-0.1	-0.6	-0.6
1973/74	0.9	0.9	-0.6	-0.6	-0.6	n	0.3	-0.4	0.1	1.1	1.6	-1.6	-1.3	-1.1	-1.5	-0.4
1974/75	2.0	1.6	0.5	1.0	1.3	n	0.6	0.4	0.0	0.8	0.9	-0.3	-0.4	-1.0	0.5	1.2

(1) Jungfrauoch

(3) Rhône/Porte du Scex

(2) Blatten/Blatten-Naters

(4) Rhin/Rheinfeldten

stationnaires et en décline pour toutes les séries d'années où l'on dispose d'observations. Sauf pour le glacier de Sarennes, l'année de bilan de 1964/65 montre une fin marquée d'une longue période de récession. L'augmentation du pourcentage des glaciers en crue pendant la DHI est certainement due à un léger rétablissement des glaciers. Mais il ne faut pas surestimer l'importance de cette évolution, du fait que pendant la longue période de récession, les glaciers ont perdu des aires englacées considérables avant tout dans leur zone d'ablation. Les conditions climatiques de la DHI qui ont été moins hostiles aux glaciers que celles des décennies précédentes, ont abaissé le niveau des lignes d'équilibre et augmenté la quote-part des zones d'accumulation par rapport aux zones d'ablation. Les conséquences de ce fait sont :

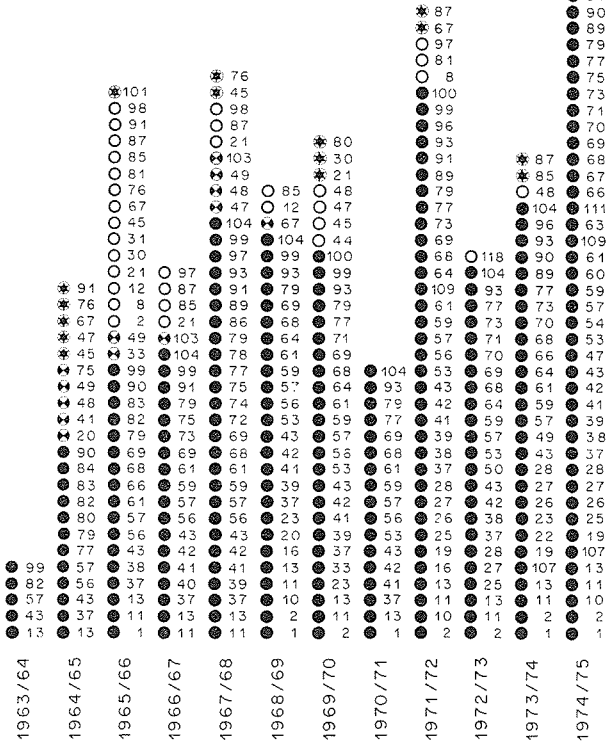
1 - L'ablation diminue par rapport à l'accumulation,

ce qui facilite des bilans équilibrés ou même positifs. Il dépend de l'évolution future du climat que la récession soit atténuée ou qu'un état plus ou moins stationnaire ou même une période de crue générale interviennent. Les conditions climatiques moyennes pendant la DHI ne sont pas encore assez favorables aux glaciers pour engendrer une période de crue générale.

2 - Par rapport à la période de récession où l'écoulement a profité de la diminution de volume des glaciers, l'indice d'écoulement a diminué pendant la DHI, ce qui est une conséquence directe des pertes d'aires englacées dans les zones d'ablation. C'est une des conséquences importantes pour la production hydroélectrique des aménagements dans les bassins à haute glaciation.

- * avance d'une longue enneigée
- O allongement dû à la formation de cônes d'avalanches ou aux accumulations pérennes devant le front
- ⊕ crue due à un mécanisme inconnu
- avance due au mouvement

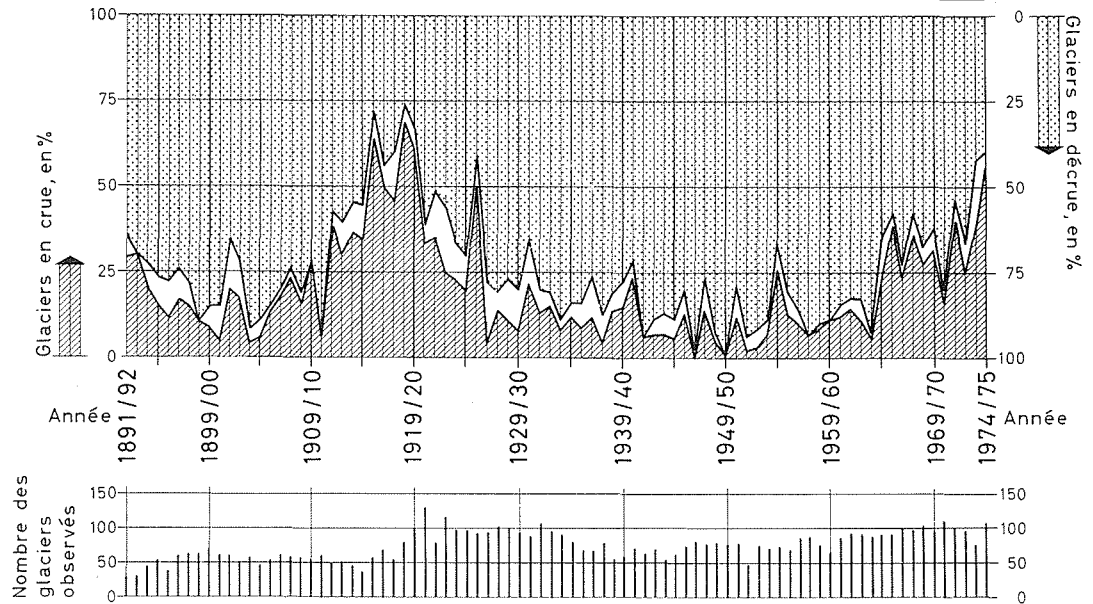
- *118
- *117
- *120
- *87
- *21
- 81
- 114
- 78
- 76
- 12
- 8
- 82
- 104
- 100
- 99
- 96
- 91
- 90
- 89
- 81
- 77
- 75
- 73
- 71
- 70
- 69
- 68
- 67
- 66
- 63
- 111
- 109
- 104
- 90
- 89
- 88
- 85
- 81
- 77
- 73
- 70
- 68
- 66
- 64
- 61
- 59
- 57
- 55
- 53
- 51
- 49
- 47
- 45
- 43
- 41
- 39
- 37
- 35
- 33
- 31
- 29
- 27
- 25
- 23
- 21
- 19
- 17
- 15
- 13
- 11
- 9
- 7
- 5
- 3
- 1



Les nombres inscrits dans le graphique sont les numéros d'identification GL des glaciers définis dans le tableau 1.

6/ Les crues des années 1963/64 à 1974/75

Nombre de glaciers en crue et en décrue, en pourcent du nombre total des glaciers observés de 1891/92 à 1974/75.

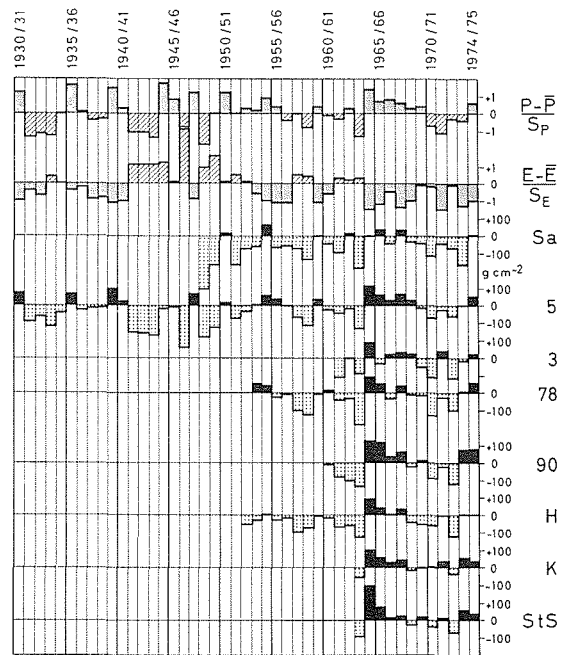


7/ Précipitations et écoulements du bassin de la Massa, bilans annuels spécifiques de masse de différents glaciers et nombre de glaciers en crue et en décrue, en pourcent du nombre total des glaciers observés de 1891/92 à 1974/75.

Précipitations P_{10-9} et Écoulement E_{10-9} du bassin versant de la Massa.
Variables centrées réduites $\frac{X-\bar{X}}{S_x}$

Bilans annuels spécifiques en gcm^{-2} des glaciers de

- Sa Sarennes
- 5 Aletsch
- 3 Gries
- 78 Limmern
- 90 Silvretta
- H Hintereis
- K Kesselwand
- StS Stubacher Sonnblickkees



Discussion

Président : M.L. de CRECY

M. le Président remercie chaleureusement M. KASSER pour son exposé remarquablement documenté et illustré. Il ouvre ensuite la discussion.

Répondant à une question de M. OBLED, M. le Président ne pense pas que l'utilisation et l'aménagement des glaciers pour le ski (zones de damage) apportent une perturbation notable du bilan annuel de l'ensemble car les surfaces intéressées sont relativement peu importantes.

Avez-vous noté, demande M. VIVIAN, une influence de l'altitude des langues terminales sur la variation glaciaire, indépendamment des problèmes d'orientation ou même de localisation régionale des variations ?

J'ai commencé une étude sur ce point, répond M. KASSER, mais je n'ai pas encore de résultats.

Il me paraît intéressant de signaler que l'Institut de Géographie de l'École Polytechnique de Zurich a établi, sous la direction de M. Fritz MULLER un inventaire complet des glaciers suisses sur la base d'une couverture aérienne réalisée en 1973.

Cet inventaire comprend maintenant 1 828 glaciers ; mais on a pris en compte tous les petits névés pérennes à partir d'une surface d'un hectare et le plus grand nombre de ces 1 828 glaciers sont des glaciers de petit appareil. Une publication sur ce sujet doit paraître à une date qui n'est pas encore précisée.

Grâce aux captages réalisés pour l'alimentation des usines hydro-électriques, dit M. BEZINGE, on a pu constater, en Suisse, que les moyennes des 15 dernières années des débits de fusion des petits glaciers avaient tendance à diminuer, en corrélation avec l'engraissement des glaciers. C'est une image immédiate de la "tendance" du climat au cours de cette période.

Il ne me reste plus qu'à remercier M. KASSER, conclut M. le Président. Nous éprouvons une grande admiration — et quelque envie — devant l'importance et l'ancienneté des travaux de la Commission des glaciers suisses. Nous avons encore beaucoup à faire, en France, avant d'arriver aux résultats remarquables que vous avez bien voulu nous présenter.

Abstract

Glacier variations in the Swiss Alps in 1974/75 and data obtained during the International Hydrological Decade from 1964/65 to 1973/74

In the Swiss Alps the year 1974/75 brought early snow on the glaciers and a winter of high precipitation, with a very long duration of the snow cover as a result of late melting and a normal summer, so that it favoured the growth of the glaciers. The mean annual mass balances measured for four glaciers were all distinctly positive (cf. Table 2b). In the observation network of 115 glaciers changes in length were observed at the snouts of 107 glaciers (cf. Table 2a). Of these, 56 advanced, 11 remained stationary and 40 retreated. About two-thirds of the length changes were between - 10 and + 10 metres (cf. Figure 2).

The relationship between the sign of the length change and various morphological parameters was investigated for a random sample of 96 glaciers from the observation year 1974/75. A significant relation to the sign was found for the size and the mean gradient of the glaciers, advances predominating among small and steep glaciers and retreats among the large and less steep ones. The relationship between the sign and the altitude of the glacier snout was significant only for a random sample limited to the 48 smallest glaciers. Another question investigated was whether the +/- ratio of the number of advancing to the number of retreating glaciers depended on their exposure. There was found to be a clear dependence, with a maximum of 1.72 in the NE sector, where the advances predominate, and a minimum in the SW sector, where the retreats are more numerous.

In the International Hydrological Decade (IHD) of 1964/65 to 1973/74 the sum of the mean annual mass balances for the Aletsch Glacier (+156 g cm⁻²) and the Silvretta (+169 g cm⁻²) was positive, while it was negative for the Gries (-91 g cm⁻²) and Limmern (-134 g cm⁻²) Glaciers. On the average the overall mass balance for all glaciers in the Swiss Alps over the period of the IHD seems to be about even. The annual mass balances plotted in Figure 7 show that the long recession period ended with the extreme shrinkage of the year 1963/64 and that with the growth year 1964/65 a slight recovery of the glaciers began. This is also reflected in the increase of the number of advancing glaciers. During the period of retreat the discharges of the glacier streams were large and led to marked mass losses. The glaciers losing a good deal of their ice area particularly in the ablation zone. The deterioration of climatic conditions in the IHD led to a lowering of the equilibrium line and thus to an increase in the proportional area of the accumulation to the ablation zone. The result was an equalization of the mass balances and a reduced discharge of the glacier streams which was also aggravated by the decrease in melt water due to the foregoing loss of surface area. Consequently the power generation figures of the hydro-electric stations in catchment areas with high glaciation have also diminished in the last few years.