

8. Quelques recherches sur la couverture de neige

par

M. Jansson et J. Westman.

Introduction.

La couverture de neige a une importance toute particulière aux latitudes où elle persiste quelques mois par an sur un sol qu'elle protège contre le froid hivernal. Elle l'empêche ainsi de geler ou tout au moins diminue l'action du gel. Etant donné qu'une surface de neige non souillée a un très grand pouvoir émissif, une couverture de neige mince peut en certains cas produire l'effet exactement contraire, surtout si la nébulosité est faible et la densité de la neige considérable, auquel cas le coefficient de conductibilité thermique est aussi relativement élevé. Une autre action importante de la couverture de neige est son influence régulatrice sur l'irrigation du sol. Pendant la plus grande partie du temps que persiste la couverture de neige, celle-ci n'abandonne au sol que très-peu ou pas du tout d'humidité. Pendant la période de la fonte une grande quantité d'eau est remise en liberté, parfois en un temps si court que la majeure partie ne peut être absorbée par le sol sous-jacent, surtout si la surface du sol est gelée. L'eau s'écoule, et réagit sur les conditions hydrographiques d'un domaine plus ou moins étendu.

Il va de soi que la neige qui s'amoncelle annuellement dans le domaine des névés d'un glacier a une influence décisive sur les variations de l'étendue de ce glacier. Mais en beaucoup de cas la neige qui recouvre annuellement les parties inférieures du glacier ne doit pas avoir moins d'influence. Les mesures prouvent en effet que, les conditions étant par ailleurs identiques, la quantité d'eau mise en liberté par unité de temps par la fonte d'une couche de neige est beaucoup moindre que celle mise en liberté par la fonte de la glace des glaciers. La cause en est sans doute en ce fait que les rayons de chaleur sont moins facilement absorbés par la surface relativement pure de la neige que par la glace ordinairement souillée des glaciers. D'un autre côté la couverture de neige protège les glaciers

contre le froid hivernal en sorte qu'il est besoin pour amener à 0° la température de la glace d'une quantité de chaleur inférieure à celle qui serait nécessaire si la neige était absente. La couverture de neige accélère ainsi la fonte de la glace dans une certaine mesure. Etant donnée toutefois la faible conductibilité de la glace elle-même, les couches supérieures protègent les couches inférieures, et la neige exerce à ce point de vue une action moins importante que dans le cas examiné précédemment. L'épaisseur de la couverture de neige dans les parties inférieures des glaciers détermine ainsi essentiellement la quantité d'eau mise en liberté par la chaleur pendant la période de la fonte et par conséquent détermine la décroissance des glaciers.

La constitution interne de la couverture de neige subit avec le temps des modifications. En quelques mois le poids spécifique de la couverture de neige peut être plus que décuplé, en sorte qu'il devient égal au poids spécifique des névés. Cet accroissement du poids spécifique est dû à une modification de la structure interne de la couverture de neige qui, même dans les régions basses, se transforme finalement en une masse de grains de glace.

Dans les pages qui suivent nous donnons quelques mesures concernant la neige que nous avons faites à Upsal en Janvier—Avril 1902. Elles comprennent principalement des mesures journalières de l'épaisseur de la couverture de neige, des mesures journalières de sa température à diverses profondeurs, des mesures du poids spécifique à diverses profondeurs et des variations du poids spécifique avec le temps; enfin nous donnons des mesures relatives à l'influence de l'évaporation sur la diminution d'une couverture de neige, et à la rapidité de la fonte.

Toutes les mesures ont été faites par Westman jusqu'au 14 mars et après cette date par Jansson.

Épaisseur de la couverture de neige.

Il fut fait choix en vue des recherches relatives à la couverture de neige de deux emplacements situés dans le voisinage de l'Observatoire Météorologique, l'un, Station I, auprès du pluviomètre normal, l'autre, Station II, immédiatement au sud du pavillon des instruments. Le premier emplacement présentait un sol horizontal couvert de buissons bas et éparpillés, et qui ne pouvaient en aucune façon protéger contre le vent la surface de neige à la Station I, le second, une pente légèrement inclinée vers le nord-est, était un peu plus exposé au vent. La hauteur au-dessus du niveau de la mer est à la Station I 23 m, à la Station II 28 m. En 1901, on a aussi fait à la Station I quelques recherches sur la couverture de neige¹.

En vue de mesurer l'épaisseur de la couverture de neige et ses variations cinq échelles graduées furent disposées le 15 Janvier 1902 à en-

¹ J. WESTMAN: Einige Beobachtungen über das Schwinden einer Schneedecke (Met. Zeitschr., 1901).

viron 3 m les unes des autres en chacun des deux emplacements. Chaque échelle se composait d'une tige de section carrée longue de 60 cm, large de 2 cm, et graduée en cm. L'extrémité inférieure de la tige reposait sur le sol ou s'y enfonçait de quelques centimètres et les échelles ne subirent aucun déplacement pendant tout le temps que durèrent les mesures. La surface de la neige étant inégale autour des échelles, on s'est servi pour faire les lectures d'une plaque en tôle carrée de 20 cm de côté et percée en son centre d'un trou à la mesure de la tige. L'épaisseur de la neige au-dessus du sol était lue à la surface supérieure de la plaque. Les lectures étaient faites à 0,1 cm près. La moyenne de ces mesures a été donnée avec deux décimales dont la seconde n'a d'importance que dans les cas où il s'agit de déterminer les variations de la couverture de neige d'un jour à l'autre par temps calme et en l'absence de précipitations atmosphériques.

Tab. I.

Mois	Date à midi	Épaisseur de la couverture de neige		Variations de l'épaisseur de la couverture de neige en 24 heures antérieures		Précipitations en 24 heures antérieures		Pendant les 24 heures antérieures											
		Station I	Station II	Station I	Station II	Somme	Espèce	Température de l'air			Vitesse du vent m. p. s.								
								Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.						
1902		cm	cm	cm	cm	mm													
Janvier	1	—	—	—	—	3.78	☉	+ 2° 15	+ 2° 7	+ 1° 1	4.06	5.7	2.8						
	2	—	—	—	—	1.13	☉	+ 0.58	+ 1.8	— 1.2	2.18	3.7	0.0						
	3	36.50	23.96	—	—	—	—	— 2.83	— 0.6	— 4.9	3.61	4.8	2.1						
	4	—	—	—	—	5.32	*	— 4.05	+ 1.9	— 6.1	—	—	—						
	5	42.39	29.03	—	—	0.24	☉	+ 1.34	+ 2.8	— 1.1	—	—	—						
	6	—	—	—	—	—	—	— 1.52	+ 0.4	— 4.1	4.10	6.8	1.8						
	7	—	—	—	—	6.47	*	— 2.43	— 0.4	— 3.8	3.58	6.8	0.8						
	8	46.28	34.48	—	—	—	—	— 0.24	+ 2.3	— 2.4	3.98	7.9	1.9						
	9	—	—	—	—	—	—	+ 1.75	+ 3.0	+ 0.1	3.91	7.0	2.4						
	10	41.64	28.57	—	—	3.34	☉	+ 2.53	+ 3.1	+ 1.6	5.46	8.6	2.6						
	11	41.39	28.04	— 0.25	— 0.53	—	—	— 0.84	+ 3.1	— 3.6	4.00	5.8	2.3						
	12	—	—	—	—	—	—	— 6.13	— 3.5	— 8.6	2.90	6.4	0.0						
	13	41.36	28.20	—	—	0.13	*	— 7.06	— 5.1	— 9.8	1.38	4.6	0.0						
	14	—	—	—	—	0.38	*	— 7.65	— 4.5	— 11.0	4.38	7.5	0.0						
	15	41.48	28.35	—	—	0.24	*	— 12.42	— 7.5	— 16.1	3.00	7.4	0.0						
	16	44.48	35.64	—	—	—	—	— 1.10	+ 2.3	— 8.4	7.21	11.1	2.2						
	17	44.06	34.94	— 0.42	— 0.70	—	—	— 1.89	+ 2.2	— 4.6	4.62	10.9	2.4						
	18	44.14	35.00	+ 0.08	+ 0.06	1.48	* ☉	— 3.34	— 0.7	— 6.8	2.00	4.3	0.0						
	19	45.42	36.10	+ 1.28	+ 1.10	2.13	*	— 12.77	— 7.0	— 19.6	2.74	6.4	0.0						
	20	42.74	32.74	— 2.68	— 3.36	1.17	* ☉	— 0.45	+ 3.7	— 7.2	5.76	7.6	3.6						
	21	42.34	31.88	— 0.40	— 0.86	—	—	+ 0.46	+ 3.8	— 2.1	4.70	8.1	3.1						
	22	42.30	31.90	— 0.04	+ 0.02	—	—	— 2.08	+ 2.3	— 6.7	2.96	6.9	0.0						
	23	42.38	31.92	+ 0.08	+ 0.02	—	—	— 2.09	+ 0.6	— 4.5	2.21	5.0	0.0						
	24	37.24	26.10	— 5.14	— 5.82	—	—	+ 2.30	+ 4.5	— 1.8	5.29	7.3	3.6						
	25	31.86	22.78	— 5.38	— 3.32	1.44	☉	+ 2.84	+ 4.2	+ 1.5	5.33	7.6	3.8						
	26	30.34	22.42	— 1.52	— 0.36	1.27	☉ *	+ 1.26	+ 1.7	+ 0.6	5.72	7.8	3.2						
	27	30.46	22.32	+ 0.12	— 0.10	0.05	*	— 1.78	+ 1.1	— 4.6	3.21	4.4	2.3						
	28	30.44	22.34	— 0.02	+ 0.02	—	—	— 3.60	— 1.1	— 6.8	2.84	4.0	1.8						
	29	30.34	22.36	— 0.10	+ 0.02	—	—	— 6.57	— 5.1	— 8.3	1.50	3.4	0.0						
	30	30.40	22.30	+ 0.06	— 0.06	—	*	— 3.35	— 2.4	— 4.4	4.47	6.7	2.4						

Mois	Date à midi	Epaisseur de la couverture de neige		Variations de l'épaisseur de la couverture de neige en 24 heures antérieures		Précipitations en 24 heures antérieures		Pendant les 24 heures antérieures									
		Station I	Station II	Station I	Station II	Somme	Espèce	Température de l'air			Vitesse du vent m. p. s.						
								Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.				
1002		cm	cm	cm	cm	mm											
Janvier	31	30.28	22.38	- 0.12	+ 0.08	—	—	- 8° 00	- 4° 4	- 10° 3	3.29	6.1	1.4				
	Février	1	30.46	22.32	+ 0.18	- 0.06	0.24	* ☉	- 3.53	+ 0.8	- 6.2	1.71	2.9	0.0			
	2	30.42	22.38	- 0.04	+ 0.06	0.12	┌	- 2.40	+ 1.6	- 7.1	1.40	2.2	0.0				
	3	30.30	22.32	- 0.12	- 0.06	—	*	- 2.78	+ 0.0	- 5.9	2.33	7.1	0.0				
	4	30.34	22.34	+ 0.04	+ 0.02	—	*	- 4.07	- 1.1	- 5.8	3.07	6.2	1.1				
	5	30.22	22.20	- 0.12	- 0.14	0.12	*	- 9.33	- 3.9	- 15.4	1.75	4.5	0.0				
	6	30.92	22.05	+ 0.70	+ 0.85	0.46	*	- 7.63	- 2.0	- 11.4	3.93	5.2	1.8				
	7	31.70	23.92	+ 0.78	+ 0.87	0.81	*	- 2.69	- 0.9	- 4.5	3.09	6.3	0.0				
	8	31.66	24.12	- 0.04	+ 0.20	0.37	*	- 4.66	- 2.4	- 6.8	1.71	4.9	0.0				
	9	31.60	23.78	- 0.06	- 0.34	0.11	*	- 8.85	- 2.2	- 16.5	1.75	3.8	0.0				
	10	39.76	30.74	+ 8.16	+ 6.96	0.87	*	- 11.20	- 8.0	- 12.4	1.75	3.4	0.0				
	11	45.70	35.64	+ 5.94	+ 4.90	4.92	*	- 11.72	- 10.1	- 13.8	3.15	5.5	2.1				
	12	41.28	31.92	- 4.42	- 3.72	0.90	*	- 11.74	- 3.0	- 22.6	2.45	7.0	0.0				
	13	39.40	30.69	- 1.88	- 1.23	—	—	- 8.22	- 6.8	- 11.4	4.04	7.7	2.4				
	14	38.24	29.76	- 1.16	- 0.93	—	—	- 12.52	- 4.9	- 17.7	2.54	5.1	1.3				
	15	37.98	29.92	- 0.26	+ 0.16	—	—	- 10.68	- 7.1	- 15.0	3.15	5.5	1.0				
	16	37.10	25.18	- 0.88	- 4.74	—	—	- 1.55	+ 1.1	- 6.8	6.01	7.7	4.2				
	17	36.40	24.04	- 0.70	- 1.14	—	*	- 0.93	+ 1.2	- 2.3	8.01	10.9	4.6				
	18	36.34	23.96	- 0.06	- 0.08	—	┌	- 7.25	+ 0.9	- 14.5	0.89	4.9	0.0				
	19	36.24	24.06	- 0.10	+ 0.10	—	┌	- 9.63	- 3.0	- 15.9	0.22	1.0	0.0				
	20	36.12	23.94	- 0.12	- 0.12	—	┌	- 5.33	- 3.6	- 7.0	1.98	4.1	0.0				
	21	36.10	23.94	- 0.02	+ 0.00	0.05	┌	- 6.00	- 3.8	- 7.4	4.48	5.3	3.9				
	22	35.88	23.98	- 0.22	+ 0.04	—	—	- 3.71	- 1.5	- 5.1	4.84	5.8	3.8				
	23	35.80	23.80	- 0.08	- 0.18	—	—	- 1.72	- 1.1	- 2.3	3.99	5.0	3.1				
	24	35.82	23.92	+ 0.02	+ 0.12	—	┌ =	- 5.84	- 2.4	- 8.3	2.70	4.6	0.8				
	25	35.78	23.98	- 0.04	+ 0.06	—	┌ ≡	- 4.93	- 2.1	- 8.0	3.35	4.9	1.5				
	26	35.68	23.88	- 0.10	- 0.10	—	┌ ≡	- 5.50	- 2.9	- 7.8	1.44	3.6	0.0				
	27	38.90	26.24	+ 3.22	+ 2.36	1.84	*	- 2.86	- 0.7	- 4.8	3.03	4.9	1.6				
	28	45.10	33.44	+ 6.20	+ 7.20	6.47	* ☉	- 0.92	+ 0.4	- 2.0	3.05	4.8	1.7				
Mars	1	42.90	30.38	- 2.20	- 3.06	1.29	* ☉	+ 0.42	+ 1.6	+ 0.1	0.42	2.8	0.0				
	2	39.16	27.03	- 3.74	- 3.30	2.91	* ☉	- 0.13	+ 2.1	- 2.2	1.57	4.7	0.0				
	3	39.14	26.98	- 0.02	- 0.10	0.19	*	- 3.79	- 2.1	- 5.3	4.12	4.8	3.6				
	4	39.16	26.90	+ 0.02	- 0.08	0.32	*	- 5.10	- 3.6	- 5.8	2.97	4.8	0.8				
	5	48.08	36.28	+ 8.92	+ 9.38	7.14	*	- 2.81	+ 0.7	- 4.3	3.07	5.4	0.8				
	6	41.42	29.14	- 6.66	- 7.14	—	—	+ 1.20	+ 1.6	+ 0.9	3.98	5.2	2.0				
	7	38.18	26.30	- 3.24	- 2.84	—	—	+ 1.14	+ 2.4	+ 0.3	1.96	3.7	0.0				
	8	37.02	25.70	- 1.16	- 0.60	0.21	*	- 4.45	+ 3.4	- 9.5	5.73	7.3	1.6				
	9	37.14	25.76	+ 0.12	+ 0.06	0.47	*	- 11.68	- 9.2	- 13.1	4.87	7.3	3.0				
	10	37.46	25.68	+ 0.32	- 0.08	—	—	- 14.29	- 3.7	- 19.5	2.56	6.2	0.0				
	11	37.38	25.58	- 0.08	- 0.10	—	—	- 1.66	+ 0.1	- 4.5	1.91	4.7	0.0				
	12	37.28	25.62	- 0.10	+ 0.04	—	—	- 9.87	- 4.6	- 14.8	2.00	4.7	0.0				
	13	37.18	25.64	- 0.10	+ 0.02	—	—	- 9.24	- 2.6	- 12.8	2.59	4.1	1.0				
	14	37.30	25.62	+ 0.12	- 0.02	—	—	- 2.19	+ 0.1	- 3.7	5.72	9.1	1.9				
	15	36.38	24.68	- 0.92	- 0.94	—	*	- 0.18	+ 2.0	- 1.4	5.70	9.1	4.1				
	16	35.98	24.44	- 0.40	- 0.24	—	—	+ 0.20	+ 3.4	- 2.0	1.80	3.9	0.0				
	17	35.88	24.36	- 0.10	- 0.08	1.13	☉ *	- 0.35	+ 0.9	- 3.3	2.80	6.2	0.0				
	18	35.68	24.34	- 0.20	- 0.02	—	—	- 2.23	+ 1.7	- 6.7	2.18	6.4	0.0				
	19	33.90	22.78	- 1.78	- 1.56	0.92	* ☉	+ 0.87	+ 4.6	- 1.3	4.76	8.4	0.0				
	20	31.76	20.60	- 2.14	- 2.18	3.94	☉ *	+ 2.28	+ 4.4	+ 1.0	4.92	6.2	4.2				
	21	32.46	21.34	+ 0.70	+ 0.74	4.64	☉ *	- 3.12	+ 2.5	- 9.3	4.62	5.9	3.0				

Mois	Date à midi	Épaisseur de la couverture de neige		Variations de l'épaisseur de la couverture de neige en 24 heures antérieures		Précipitations en 24 heures antérieures		Pendant les 24 heures antérieures								
		Station I	Station II	Station I	Station II	Somme	Espèce	Température de l'air			Vitesse du vent m. p. s.					
								Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.			
1902		cm	cm	cm	cm	mm										
Mars	22	33.16	21.98	+ 0.70	+ 0.64	1.11	*	-11° 23	- 6° 4	- 13° 1	3.64	4.9	3.0			
	23	33.32	22.02	+ 0.16	+ 0.04	0.24	*	- 7.85	- 4.3	- 9.3	2.53	4.2	0.0			
	24	34.08	22.60	+ 0.76	+ 0.58	3.83	* ⊙	- 1.58	+ 2.2	- 3.7	3.49	6.2	0.8			
	25	32.74	21.40	- 1.34	- 1.20	—	*	+ 0.54	+ 3.4	- 1.4	2.77	5.4	0.0			
	26	43.56	32.02	+ 10.82	+ 10.62	13.61	*	- 2.08	+ 0.7	- 3.4	3.50	5.2	1.1			
	27	40.54	29.22	- 3.02	- 2.80	—	*	- 1.56	+ 1.0	- 3.3	1.41	3.7	0.0			
	28	40.96	29.60	+ 0.42	+ 0.38	0.49	*	- 4.10	+ 0.0	- 8.0	2.42	4.5	0.8			
	29	40.30	29.18	- 0.66	- 0.42	—	—	- 7.03	- 1.2	- 12.4	1.30	4.3	0.0			
	30	39.88	28.62	- 0.42	- 0.56	0.12	*	- 2.20	+ 1.8	- 7.0	3.33	4.8	1.9			
	31	38.54	27.44	- 1.34	- 1.18	—	—	- 2.42	+ 1.9	- 7.6	3.27	4.8	2.2			
	Avril	1	38.32	27.34	- 0.22	- 0.10	—	⊥	- 3.93	+ 1.1	- 6.7	1.67	3.8	0.0		
2		38.28	27.26	- 0.04	- 0.08	—	⊥ ≡	- 5.07	- 1.3	- 7.8	2.53	4.0	0.0			
3		38.12	27.16	- 0.16	- 0.10	—	—	- 4.57	- 1.3	- 7.5	2.66	4.4	1.1			
4		37.81	26.61	- 0.31	- 0.55	—	⊥ ≡	- 1.82	+ 1.8	- 5.9	3.11	4.9	0.0			
5		36.96	25.98	- 0.85	- 0.63	—	* ⊙	- 1.47	+ 1.5	- 4.6	4.33	6.0	3.1			
6		36.54	25.72	- 0.42	- 0.36	—	—	- 2.12	+ 3.6	- 7.5	1.71	6.3	0.0			
7		35.94	25.08	- 0.60	- 0.64	0.05	△ *	- 0.24	+ 4.1	- 5.4	1.66	3.8	0.0			
8		—	—	—	—	—	*	- 2.06	+ 2.7	- 7.2	1.23	2.9	0.0			
9		35.70	25.00	—	—	0.09	*	- 5.68	+ 1.9	- 11.6	1.68	4.4	0.0			
10		38.34	28.04	+ 2.64	+ 3.04	2.18	*	- 2.13	+ 2.0	- 5.1	3.30	4.4	2.2			
11		37.12	27.18	- 1.22	- 0.86	0.27	* ≡	- 2.73	+ 2.4	- 8.2	1.51	4.3	0.0			
12		36.26	26.58	- 0.86	- 0.60	—	—	- 3.34	+ 4.9	- 13.5	0.88	2.9	0.0			
13		35.96	26.18	- 0.30	- 0.40	—	—	- 2.68	+ 5.8	- 11.3	0.55	2.1	0.0			
14	32.92	24.68	- 3.04	- 1.50	—	—	- 0.55	+ 6.5	- 8.6	1.38	3.2	0.0				
15	28.63	22.78	- 4.29	- 1.90	—	—	+ 0.48	+ 8.4	- 6.9	0.74	3.0	0.0				
16	25.54	21.36	- 3.09	- 1.42	—	—	+ 1.58	+ 7.1	- 4.1	2.50	4.7	0.0				
17	20.76	16.34	- 4.78	- 5.02	—	—	+ 3.38	+ 8.4	- 2.8	3.24	6.4	0.0				
18	16.06	12.14	- 4.70	- 4.20	—	—	+ 3.48	+ 8.8	- 1.2	3.13	5.1	0.0				
19	12.43	7.86	- 3.63	- 4.28	0.33	⊙	+ 3.44	+ 9.3	+ 0.2	1.34	3.9	0.0				
20	4.86	0.39	- 7.57	- 7.47	—	—	+ 5.57	+ 12.4	- 0.4	1.49	3.5	0.0				

Avant le 16 Janvier 1902, l'épaisseur de la couverture de neige aux emplacements ci-dessus désignés fut mesurée au moyen d'une échelle graduée que l'on enfonçait dans la neige jusqu'au sol. Les lectures étaient opérées suivant la méthode décrite plus haut à l'aide d'une plaque posée sur la surface de la neige. Ces mesures étaient prises chaque jour au même endroit, c.-à-d. au point marqué par le trou de l'échelle.

Les lectures étaient faites à midi. Au cas où une lecture était retardée de plus d'une demi-heure le résultat était réduit à ce qu'il aurait dû être à midi.

Les résultats des mesures de l'épaisseur de la couverture de neige sont consignés dans le Tab. 1. Les chiffres donnés représentent à partir du 16 Janvier la moyenne des indications fournies à chaque station par les cinq échelles; avant la même date ils représentent la moyenne des dix

mesures ci-dessus décrites. Il y a donc dans les mesures une discontinuité entre les 15 et 16 Janvier.

Outre l'épaisseur et les variations journalières de l'épaisseur de la couverture de neige en 24 heures, le Tab. 1 contient les moyennes de midi à midi de quelques éléments météorologiques qui influent plus ou moins directement sur l'épaisseur de la couverture de neige.

Il ressort du Tab. 1 que le maximum de l'épaisseur fut à la Station I 48 cm, à la Station II 36 cm. Le maximum de la variation de l'épaisseur de la couverture de neige pendant 24 heures fut pour chacune des deux stations respectivement 10,8 cm et 10,6 cm. Le Tab. 2 indique la répartition des variations selon leur grandeur entre le 16 Janvier et le 20 Avril 1902. La grandeur absolue de ces variations, abstraction faite du signe, est respectivement pour la moitié (51 pour cent) et les trois quarts (73 pour cent) de toutes les observations inférieure à 0,5 cm et 1,5 cm en 24 heures. Ainsi l'épaisseur de la couverture de neige n'a subi d'un jour à l'autre que des variations assez petites. Si l'on compare le nombre n_+ des jours pendant lesquels un accroissement s'est produit et le nombre n_- des jours pendant lesquels il y a eu une diminution de la couche on trouve $n_- = 2,2 n_+$, c.à.d. que le nombre des seconds est plus de deux fois plus grand que celui des premiers.

Tab. 2.

	Nombre de jours où l'accroissement de la couverture de neige en 24 heures est contenu entre les limites							Nombre de jours où la diminution de la couverture de neige en 24 heures est contenue entre les limites						
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	
	0.0—0.5	0.5—1.5	1.5—3.5	3.5—5.5	5.5—7.5	7.5—9.5	9.5—11.5	0.0—0.5	0.5—1.5	1.5—3.5	3.5—5.5	5.5—7.5	7.5—9.5	
Station I	13	6	2	0	2	2	1	35	12	10	6	3	1	
Station II	19	6	2	1	2	1	1	27	17	9	5	3	0	

L'accroissement de la couverture de neige en un lieu donné est causé en général principalement par les chutes de neige, et en outre par les apports de neige dûs à l'action mécanique du vent. La diminution de l'épaisseur de la couverture de neige est au contraire le plus souvent le résultat de causes nombreuses, et dont il est difficile d'évaluer l'importance les unes par rapport aux autres. Les principales de ces causes sont 1:0 les modifications intérieures de la couverture de neige, même aux basses températures où aucune fusion ne peut se produire; 2:0 l'apport de chaleur par la pluie, par les courants d'air chauds et enfin par les rayons solaires; 3:0 l'action mécanique du vent par le transport de masses de neige et par le tassement de la couverture de neige, auquel cas la densité et la dureté de la couche superficielle sont d'une importance capitale. Au contraire l'action combinée de l'évaporation de la neige et de la condensation de la vapeur

d'eau contenue dans l'air sur la surface de neige est, comme nous le verrons dans ce qui va suivre, de minime importance. Nos mesures ne suffisent naturellement pas pour déterminer les rapports entre les variations de l'épaisseur de la couverture de neige et les principales causes qui les produisent. Nous avons dû nous borner à indiquer quelques relations isolées.

Le rapport entre les chutes de neige et l'accroissement de l'épaisseur de la couverture de neige ressort du Tab. 3 qui indique les journées où les chutes de neige furent supérieures à 1,0 mm (eau). On voit d'après ce tableau qu'en moyenne une chute de neige de 1,0 mm correspond à un accroissement d'épaisseur égal à 1,0 cm, et que les variations sont comprises entre 0,52 cm et 1,75 cm. L'épaisseur spécifique de la neige, c.-à-d. la valeur réciproque de son poids spécifique, a ainsi varié entre 5,2 et 17,5 et fut en moyenne de 9,8. Il ne s'est produit à aucune des deux stations d'accroissement de la couverture de neige par suite de neige mouvante; les deux stations étaient trop exposées au vent pour que cela fût possible.

Tab. 3.

Date	Somme des précipitations	Variations de l'épaisseur de la couverture de neige		Variations de l'épaisseur de la couverture de neige par mm de précipitation			Épaisseur spécifique de la neige
		Station I	Station II	Station I	Station II	Moy.	
1902	mm	cm	cm	cm	cm	cm	
Janvier 7	6.47	3.89	5.45	0.60	0.84	0.72	7.2
" 19	2.13	1.28	1.10	0.60	0.52	0.56	5.6
Février 11	4.92	5.94	4.90	1.21	1.00	1.10	11.0
" 27	1.84	3.22	2.36	1.75	1.28	1.52	15.2
Mars 5	7.14	8.92	9.38	1.25	1.31	1.28	12.8
" 22	1.11	0.70	0.64	0.63	0.58	0.60	6.0
" 26	13.61	10.82	10.62	0.80	0.78	0.79	7.9
Avril 10	2.18	2.64	3.04	1.21	1.39	1.30	13.0
					<i>Moy.</i>	<i>0.98</i>	<i>9.8</i>

Quand une chute de neige survient par temps calme, il se forme une couche poreuse où l'on distingue au commencement les formes bien connues des cristaux de neige entiers et intacts. Si la neige tombe pendant que souffle un vent fort, on constate que la nouvelle couche formée se compose de fragments de cristaux souvent très petits et serrés au point qu'on n'y peut reconnaître à l'œil nu aucune trace de surface de cristaux. Dans tous les cas il se produit en quelques heures ou en quelques jours, selon les circonstances, une modification essentielle de la nouvelle couche de neige. Les cristaux ou leurs fragments se changent en une masse granulée. D'abord les grains sont opaques et rappellent le grésil, mais peu à peu ils deviennent transparents, surtout si la température de la couche s'élève à 0°, et l'on constate que les grains se composent de glace compacte et que, placés entre des Nicols, ils donnent lieu à des phénomènes d'interférence. En discutant le Tab. 10 nous aborderons la question de

savoir dans quelle mesure cette modification de la constitution interne de couche de la neige influe sur la diminution de son épaisseur.

L'influence de la chaleur apportée en même temps par la pluie et par un courant d'air chaud a été mesurée en deux cas qui sont réunis dans le Tab. 4 où le temps est compté de midi à midi. Dans Σvt représente la température de l'air et v la vitesse du vent et la sommation s'étend à toutes les valeurs horaires des temps qui figurent dans le tableau. On voit aussi que la température de l'air fut constamment positive pendant les temps indiqués. De même les limites entre lesquelles sont comprises les variations ne s'écartent pas beaucoup l'une de l'autre dans les deux cas.

Tab. 4.

Date	Diminution de l'épaisseur de la couverture de neige		Σvt	Somme de précipitation	Température moyenne de l'air pendant la pluie	Température de l'air			Vitesse du vent m. p. s.			
	Station I	Station II				Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.	
1902	cm	cm		mm								
Janvier 8—10	4.64	4.91	493	3.34	+ 2°.5	+ 2°.14	+ 3°.1	+ 0°.1	4.68	7.0	2.4	
" 24—25	5.38	3.32	353	1.44	+ 1.8	+ 2.84	+ 4.2	+ 1.5	5.33	7.6	3.8	

On voit d'après le Tab. 4 que la pluie des 8—10 Janvier fut 2,3 fois plus abondante que celle des 24—25. Comme en outre la température moyenne de l'air lors de la chute de pluie était dans le premier cas 2°.5 et dans le second 1°.8, on peut dire que l'apport de chaleur dû à la pluie fut 3 fois plus considérable les 8—10 Janvier que les 24—25. En admettant que l'apport de chaleur par suite du contact de la surface de neige avec le courant d'air chaud est approximativement proportionnel à Σvt , le rapport entre les quantités de chaleur apportées est 1,4. Une partie de la chaleur ainsi apportée était utilisée pour élever à 0° la température de la couverture de neige les 8—10 Janvier où cette température était au commencement — 1° environ. La quantité de chaleur nécessaire était toutefois peu considérable ainsi que le démontrent les observations des 14—15 Mars où la quantité $\Sigma vt = 28$ fut suffisante pour élever d'environ 1°.4 une pareille couverture de neige. Les 24—25 Janvier la couverture de neige était dès le commencement à 0°.

La diminution de l'épaisseur de la couverture de neige ayant été dans les deux cas cités à peu près la même en valeur moyenne aux deux stations, il est évident que l'influence de la pluie dut être peu considérable en comparaison de l'influence du courant d'air chaud. Si la quantité de chaleur apportée par la pluie avait eu une influence relativement importante, la différence d'abaissement de la surface de neige eut été plus grande que ne l'indique le tableau. Le peu d'importance de la pluie est encore démontré par ce fait que 1 mm de pluie ne peut liquifier par degré de

température que 0,13 mm d'une couche de neige à 0° et d'un poids spécifique de 0,1. Si celui-ci est plus considérable, la diminution est proportionnellement moindre. Peut-être la pluie peut-elle en certains cas avoir plus d'influence sur la diminution d'épaisseur d'une couverture de neige, parce qu'elle est absorbée par les couches supérieures. Celles-ci alourdies compriment les couches inférieures, surtout si par suite d'un apport de chaleur par la pluie ou par tout autre agent la couverture de neige est à 0°. En général, il nous semble que l'influence de la chaleur apportée par la pluie sur la diminution d'une couverture de neige est d'une importance fort réduite; souvent, la diminution observée paraît devoir être attribuée à la chaleur apportée par l'air chaud, surtout si la force du vent est considérable.

Le Tab. 5 montre la diminution d'épaisseur d'une couverture de neige à 0° en 24 heures sous la seule influence de la chaleur apportée par un courant d'air chaud. Ces valeurs de la diminution sont par unité de Σvt beaucoup plus élevées que les valeurs correspondantes du Tab. 4, et comme ces dernières sont en outre affectées par l'apport de chaleur dû à la pluie, nous trouvons dans le Tab. 5 une confirmation indirecte de notre conclusion sur le peu d'influence de la pluie en général.

Tab. 5.

Date	Diminution de l'épaisseur de la couverture de neige		Σvt	Température de l'air			Vitesse du vent m. p. s.		
	Station I	Station II		Moy.	Max.	Min.	Moy.	Max.	Min.
1902									
Mars 5—6	6.66	7.14	112	+ 1.20	+ 1.6	+ 0.9	3.98	5.2	2.0
" 6—7	3.24	2.84	57	+ 1.14	+ 2.4	+ 0.3	1.96	3.7	0.0

Les variations de l'épaisseur d'une couverture de neige par suite de l'action mécanique du vent sont particulièrement difficiles à mesurer, parce qu'elles dépendent à un degré important non seulement de la densité, mais aussi de la dureté de la couche superficielle. Il se forme parfois après le dégel une couche résistante qui ne peut être brisée que par de violentes tempêtes. D'un autre côté, après une chute de neige par basse température la neige poreuse est emportée par un vent faible.

Après la chute du 10—11 Février la couche de neige diminua le 11—12 d'environ 6 cm en 24 heures. La vitesse maxima du vent fut de 7,0 m. p. s. et le poids spécifique de la couche de neige superficielle d'environ 0,15. Les deux jours suivants le vent avec des maxima respectifs de 7,7 et 5,1 m. p. s. ne put diminuer l'épaisseur de la neige de plus de 2 et 1 cm. On peut dire, en général, que les vents dont la vitesse maxima est inférieure à 8 m. p. s. ne peuvent pas le plus souvent briser une couche

superficielle vieille de plusieurs jours; c'est ce qui ressort du Tab. 1. Avec une vitesse maxima de 9,1 m. p. s. les 14 et 15 Mars, le vent ne put entamer la couche superficielle dont le poids spécifique était 0,36 et avec une vitesse variant entre 10,9 et 4,6 m. p. s. le 16 Février il diminua en 24 heures l'épaisseur de la couverture de neige d'environ 5 cm à une station et de 1 cm à l'autre, le poids spécifique de la couche superficielle étant d'environ 0,25.

Température de la couverture de neige.

La température de la couverture de neige a été mesurée chaque jour depuis le 2 Février à la Station I à cinq profondeurs différentes. Les thermomètres sans monture de bois ni de métal étaient placés verticalement dans la neige, le centre des réservoirs à 5, 10, 15 et 20 cm au-dessous de la surface et en contact immédiat avec la neige; le cinquième thermomètre atteignait le sol. Après les chutes de neige, les quatre premiers thermomètres devaient être déplacés et remis aux profondeurs ci-dessus indiquées. Par conséquent, les mesures n'ont pas été prises chaque jour dans les mêmes couches ni à la même distance du sol. Les thermomètres, sauf celui dont le réservoir touchait le sol, étaient munis d'une plaque de liège d'environ 4 cm de diamètre et fixée à une distance telle du centre du réservoir que la plaque reposait sur la surface de la neige quand le thermomètre atteignait la profondeur convenable. En élevant les thermomètres, en particulier les plus profondément enfoncés, dans leurs trous, ceux-ci étaient légèrement élargis par en haut. La plaque de liège mentionnée recouvrait toutefois la chambre à air ainsi formée autour du thermomètre, et empêchait l'air froid du dehors d'y pénétrer. Le trou du thermomètre qui atteignait le sol était recouvert de la même façon.

Les mesures journalières de la température de la couverture de neige à différentes profondeurs étaient prises à midi. Elles sont réunies dans le Tab. 6.

La température minima de la neige superficielle de la Station I fut mesurée à l'aide d'un thermomètre à alcool dont le réservoir avait environ 2 cm de diamètre. Le réservoir était à demi enfoncé dans la neige, et recouvert d'une couche de neige fine assez mince pour qu'on pût voir le réservoir au travers. Par suite de chute ou de tempête de neige cette position normale ne fut pas constante, le réservoir étant parfois caché par la neige. Dans le Tab. 6 où l'on trouve les mesures de la température minima t_m de la neige superficielle nous avons indiqué aussi l'épaisseur d de la couche de neige qui recouvrait le réservoir lors des lectures. Après chaque lecture le thermomètre était replacé dans sa position normale.

Tab. 6.

Date	Température à midi de la couverture de neige à diverses profondeurs au-dessous de la surface de neige					Température mi- nima de la surface de neige		$T_m - t_m$	
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	Sol	t_m	d		
1902							cm		
Février	2	-5°.9	-6°.1	-4°.2	-3°.3	-0°.3	-11°.7	0	+ 4°.6
	3	-3.0	-3.1	-2.3	-2.2	-0.5	-12.0	0	+ 6.1
	4	-3.8	-4.0	-3.0	-2.8	-0.7	-11.4	0	+ 5.6
	5	-10.9	-10.3	-7.8	-6.0	-1.3	-19.0	0	+ 3.6
	6	-3.5	-4.3	-3.6	-3.3	-1.1	-15.5	2	+ 4.1
	7	-1.8	-2.3	-1.8	-1.5	-0.6	-4.2	2	- 0.3
	8	-2.0	-2.4	-1.8	-1.8	-0.7	-10.2	2	+ 3.4
	9	-6.2	-6.0	-4.6	-3.9	-1.1	-16.3	0	- 0.2
	10	-	-5.1	-4.8	-4.2	-1.3	-10.1	7	+ 2.3
	11	-	-4.8	-3.6	-3.2	-0.9	-9.1	10	+ 4.7
	12	-4.0	-3.8	-3.6	-2.5	-1.1	-29.0	4	+ 6.4
	13	-3.1	-3.8	-3.4	-2.5	-0.9	-18.1	0	+ 6.7
	14	-	-	-6.6	-5.6	-1.3	-	-	-
	15	-7.5	-7.6	-6.1	-5.6	-2.1	-22.1	0	+ 7.1
	16	-0.9	-1.7	-2.0	-2.4	-1.1	-9.3	1	+ 2.5
	17	-0.8	-1.3	-1.2	-	-0.7	-4.4	0	+ 2.1
	18	-6.1	-6.5	-5.1	-4.7	-1.6	-17.8	0	+ 3.3
	19	-6.5	-7.3	-6.6	-6.0	-2.5	-21.3	0	+ 5.4
	20	-3.3	-3.5	-3.0	-3.0	-1.5	-7.0	0	+ 0.0
	21	-2.3	-2.6	-2.4	-2.6	-1.3	-7.6	0	+ 0.2
	22	-1.9	-2.1	-1.8	-2.0	-1.1	-8.5	0	+ 3.4
	23	-0.7	-1.1	-0.9	-1.1	-0.7	-4.4	0	+ 2.1
	24	-3.1	-3.2	-2.8	-2.9	-1.1	-15.5	0	+ 7.2
	25	-2.6	-2.9	-2.2	-2.8	-1.3	-11.3	0	+ 3.3
	26	-2.5	-3.1	-2.6	-3.1	-1.3	-16.4	0	+ 8.6
	27	-0.4	-1.4	-2.0	-1.8	-1.1	-9.1	3	+ 4.3
	28	-0.2	-0.5	-0.8	-0.5	-0.5	-3.8	6	+ 1.8
Mars	1	+ 0.0	+ 0.0	-0.1	-0.2	+ 0.0	-0.8	3	+ 0.9
	2	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	-1.0	0	- 1.2
	3	-2.1	-0.9	-0.4	-0.6	+ 0.0	-4.4	0	- 0.9
	4	-1.8	-1.9	-1.4	-1.2	-0.4	-5.1	0	- 0.7
	5	-	-0.2	-1.0	-1.2	-0.4	-5.8	10	+ 1.5
	6	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	-	-0.4	0	+ 1.3
	7	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	-0.6	0	+ 0.9
	8	-3.0	-2.8	-0.7	+ 0.0	+ 0.0	-5.5	3	- 4.0
	9	-4.8	-5.1	-4.3	-3.6	-1.2	-10.8	4	- 2.3
	10	-8.1	-9.1	-8.0	-7.5	-2.3	-22.7	1	+ 3.2
	11	-1.2	-2.0	-1.9	-2.0	-0.9	-7.8	0	+ 3.3
	12	-6.0	-5.7	-6.0	-5.4	-1.9	-20.7	0	+ 5.9
	13	-5.0	-6.2	-6.0	-	-2.1	-18.7	0	+ 5.9
	14	-1.4	-2.2	-	-2.6	-1.4	-10.8	0	+ 7.1
	15	+ 0.0	-	-0.2	-0.6	-0.6	-4.3	0	+ 2.9
	16	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	-4.1	-	+ 2.1
	17	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	-7.7	-	+ 4.4
	18	+ 0.0	-1.3	-2.1	-1.8	-	-11.6	-	+ 4.9
	19	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	-9.0	-	+ 7.7

Date	Température à midi de la couverture de neige à diverses profondeurs au-dessous de la surface de neige					Température minima de la surface de neige		$T_m - t_m$	
	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	Sol	t_m	d		
1902									
Mars	20	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 1.3	0	+ 2.3
	21	- 2.2	- 1.2	- 1.0	± 0.0	± 0.0	- 7.5	1	- 1.8
	22	- 3.2	- 3.4	- 3.0	- 1.8	- 0.4	- 9.7	3	- 3.4
	23	- 2.5	- 2.7	- 2.2	- 1.6	- 0.5	- 8.0	2	- 1.3
	24	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 3.8	0	+ 0.1
	25	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 3.0	1	+ 1.6
	26	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	± 0.0	- 1.0	0	- 2.4
	27	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 4.5	0	+ 1.2
	28	± 0.0	- 0.6	- 0.7	—	± 0.0	—	—	—
	29	± 0.0	- 1.8	- 2.2	- 2.4	- 0.4	- 15.5	2	+ 3.1
	30	± 0.0	- 0.5	- 0.4	- 1.4	- 0.3	- 7.1	2	+ 0.1
31	- 0.2	- 0.6	- 1.2	—	—	- 9.5	2	+ 1.9	
Avril	1	± 0.0	- 0.8	—	—	—	- 14.0	0	+ 7.3
	2	- 1.4	- 2.0	- 2.2	- 2.1	- 0.9	- 13.0	0	+ 6.2
	3	± 0.0	- 0.5	- 1.0	- 1.5	- 0.9	- 14.0	1	+ 6.5
	4	± 0.0	± 0.0	- 0.2	—	- 0.1	- 14.5	0	+ 8.6
	5	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 0.4	- 0.4	- 7.0	1	+ 2.4
	6	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 0.2	- 0.9	- 11.5	0	+ 4.0
	7	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	- 10.0	2	+ 4.6
	8	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	- 10.5	0	+ 3.3
	9	± 0.0	± 0.0	- 0.2	- 1.7	—	- 16.0	0	+ 4.4
	10	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	—	- 0.8	0	- 4.3
	11	± 0.0	± 0.0	± 0.0	- 0.4	—	- 6.0	2	- 2.2
	12	± 0.0	± 0.0	- 2.4	- 3.2	—	- 13.0	0	- 0.5
	13	± 0.0	± 0.0	- 0.7	—	- 0.5	- 10.7	0	- 0.6
	14	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	- 0.7	- 11.1	0	+ 2.5
	15	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	± 0.0	- 9.0	0	+ 2.9
	16	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	± 0.0	- 9.0	0	+ 4.9
	17	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	± 0.0	- 9.0	0	+ 6.2
	18	± 0.0	± 0.0	± 0.0	—	± 0.0	- 6.5	0	+ 5.3

Nous tentâmes également de mesurer la température de la surface de la neige à l'aide d'un thermomètre à mercure ordinaire dont le réservoir était à demi enfoncé dans la neige. Mais il était souvent impossible de le maintenir dans cette position pendant 24 heures, par ex. en cas de chute ou de tempête de neige. En outre, le thermomètre n'indiquait pas la température de la surface de la neige lorsque par temps clair la boule était exposée à la radiation solaire ni par temps couvert quand la température de l'air était supérieure à 0° et que la vitesse du vent n'était pas trop faible. Il est évident que le thermomètre à minimum était également soumis à cette dernière cause d'erreur. En de telles circonstances le thermomètre marqua parfois plusieurs degrés au-dessus de 0°. Même à la profondeur de 5 cm il fut lu, grâce à la diathermanité de la neige, par forte insolation en deux cas, les 3 et 6 Avril, une température de + 0°,3. Peut-être la neige en contact direct avec

le réservoir avait-elle, au moins en partie, fondu, en sorte que le réservoir était partiellement entouré d'une couche d'air. La série des observations de la température de la neige superficielle présentant ainsi des lacunes, nous ne la donnons pas.

Tab. 7.

Mois	Nombre de jours où la différence $T_m - t_m$ entre les températures minima de l'air et de la surface de neige par 24 heures est comprise entre les limites														
	+9°.4 et +8°.5	+8°.4 et +7°.5	+7°.4 et +6°.5	+6°.4 et +5°.5	+5°.4 et +4°.5	+4°.4 et +3°.5	+3°.4 et +2°.5	+2°.4 et +1°.4	+1°.4 et +0°.5	+0°.4 et +0°.0	-0°.1 et -0°.4	-0°.5 et -1°.4	-1°.5 et -2°.4	-2°.5 et -3°.4	-3°.5 et -4°.4
	Février	1	0	3	2	2	1	3	2	0	2	1	0	0	0
Mars	0	1	1	2	1	1	2	2	3	1	0	3	1	0	0
Avril	1	0	1	2	2	2	3	0	0	0	0	2	0	0	1
Somme	2	1	5	6	5	4	8	4	3	3	1	5	1	0	1

Si l'on compare la température minima de la neige superficielle t_m et la température minima de l'air T_m (Tab. 1) jour par jour où $d = 0$, on obtient pour leurs différences $T_m - t_m$ les résultats qui figurent dans le Tab. 7. La température minima de l'air T_m est empruntée au journal de l'Observatoire Météorologique. Pendant 40 jours sur 49 au total la température minima de la surface de la neige fut inférieure à celle de l'air, en un cas elle l'égalait. Comme de plus il ressort du Tab. 7 que les valeurs négatives de la différence $T_m - t_m$ sont relativement petites, et qu'en outre ces différences peuvent avoir été causées par des couches de neige ou de givre couvrant le réservoir pendant la nuit, mais disparues lors des lectures, il faut admettre qu'en général la température minima de la surface de la neige pendant 24 heures est inférieure à celle de l'air. Pour les mois différents la valeur moyenne de $T_m - t_m$ que nous avons trouvée est la suivante.

Mois	$T_m - t_m$
Février (17 jours)	+ 4°.1
Mars (12 jours)	+ 2°.5
Avril (14 jours)	+ 3°.6
2 Février—18 Avril (49 jours)	+ 3°.3

Les températures minima de l'air se rapportent à l'abri thermométrique de l'Observatoire Météorologique. Le thermomètre s'y trouve à une hauteur de 1.4 m au-dessus du sol et de 7 m environ au-dessus de la Station I où les températures minima de la surface de la neige étaient relevées. La distance entre la Station I et l'abri thermométrique est de 135 m. Toutefois on peut considérer qu'au moins dans la majorité des cas la différence entre les températures minima à la même hauteur au-dessus du sol est assez insignifiante.

Des recherches faites par M. Juhlin¹ à Upsal en 1887 et 1888 sur la température de l'air à différentes hauteurs au-dessus d'un sol couvert de neige pendant des nuits claires et tranquilles il ressort que la température de la neige de surface est en moyenne inférieure de 4° à la température de l'air à 1.4 m au-dessus de la surface de la neige. Ce chiffre est un peu plus élevé que les nôtres, conséquence naturelle de ce fait que M. Juhlin opéra seulement pendant les nuits claires.

Suivant les circonstances la valeur de la différence $T_m - t_m$ est très variable et dépend en première ligne de la nébulosité et du pouvoir émissif de la neige superficielle. Peut-être, celui-ci peut-il varier à cause des transformations de la structure. Le maximum de la différence $T_m - t_m$ fut + 8°,6 en Février et + 7°,7 en Avril et en Mars.

L'humidité relative de l'air en Janvier et Février fut en moyenne 90 pour cent. Or comme au-dessous de zéro un abaissement de la température de 2° suffit avec cette humidité pour que le point de rosée soit dépassé, et que par conséquent une condensation de la vapeur d'eau se produise, il est évident que dans le cas présent une condensation a dû fréquemment s'accomplir des couches d'air les plus rapprochées de la neige, et qu'en général pareil phénomène doit être commun pendant les mois froids.

Tab. 8.

Mois	Température de l'air		Température de la couverture de neige à diverses profondeurs				
	Valeurs horaires	Valeurs de midi	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm	Sol
1902							
Moyennes							
Février 2-28	- 5°.9	- 4°.7	- 3°.5	- 3°.9	- 3°.4	- 3°.1	- 1°.1
Mars 1-31	- 3.5	- 1.6	- 1.4	- 1.7	- 1.4	- 1.3	- 0.5
Avril 1-18	- 1.5	+ 1.6	- 0.1	- 0.2	- 0.4	-	-
Maxima absolus							
Février 2-28	+ 1.6	-	- 0.2	- 0.5	- 0.8	- 0.5	- 0.3
Mars 1-31	+ 4.6	-	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0
Avril 1-18	+ 8.8	-	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0	± 0.0
Minima absolus							
Février 2-28	- 22.6	-	- 10.9	- 10.3	- 7.8	- 6.0	- 2.3
Mars 1-31	- 19.5	-	- 8.1	- 9.1	- 8.0	- 7.5	(- 0.9)
Avril 1-18	- 13.5	-	- 1.4	- 2.0	- 2.2	- 2.1	-

Les moyennes de la température de la couverture de neige à midi ainsi que les maxima et les minima absolus aux diverses profondeurs et pour les différents mois ont été groupées dans le Tab. 8. Ce tableau donne en outre la température moyenne de l'air pour 24 heures de midi à midi. Il est évident que la moyenne des températures journalières moyennes de la

¹ Julius Juhlin: Sur la température nocturne de l'air à différentes hauteurs (Nova Acta Reg. Soc. Sc. Ups., Upsala 1890).

couverture de neige pendant un mois est inférieure à la moyenne des températures de midi inscrites dans le tableau. On peut cependant admettre que, si l'on fait abstraction d'une couche superficielle de quelques centimètres d'épaisseur, la différence entre la moyenne de midi et la moyenne journalière est moindre pour la couverture de neige que pour l'air. Pour l'air la différence citée est $1^{\circ},2$ en Février, $1^{\circ},9$ en Mars et $3^{\circ},1$ en Avril. Ces indications permettent de se faire une idée assez exacte de la température moyenne de la couverture de neige à différentes profondeurs pendant les différents mois.

Ainsi, la température journalière minima de la neige superficielle fut, on vient de le voir, en règle générale et par suite du grand pouvoir émissif de la neige, inférieure à la température journalière minima de l'air. Néanmoins la température moyenne de la couverture de neige aux diverses profondeurs fut, en dehors d'une mince couche superficielle, supérieure à la température moyenne de l'air. Ainsi la couverture de neige protège le sol contre les températures basses et on voit d'après la dernière colonne du Tab. 8 dans quelle mesure une couverture de neige de 30 à 40 cm d'épaisseur peut protéger le sol contre le froid et le gel.

Tab. 9.

Date	Épaisseur de la couverture de neige	Température de la neige à des hauteurs diverses au-dessus du sol (+) et température du sol à des profondeurs diverses (-)								Température du sol (Mesures de l'Obs. Mét.)	
		+ 30 cm	+ 20 cm	+ 10 cm	+ 0 cm	- 5 cm	- 10 cm	- 15 cm	- 20 cm	0.5 m	1.0 m
1902	cm										
Janvier 5	38	-2°6	-1°4	-0°5	+ 0°0	+ 0°4	—	—	—	+ 0°5	+ 2°5
" 8	42	-1.8	-1.2	-0.6	+ 0.0	+ 0.5	+ 0°9	—	+ 1°2	+ 0.5	+ 2.5
" 11	39	-4.3	-2.1	-0.8	+ 0.0	+ 0.3	+ 0.4	—	+ 0.7	+ 0.6	+ 2.5
" 25	30	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.2	+ 0.4	—	+ 0.7	+ 0.0	+ 2.0
Février 1	31	+ 0.0	-1.2	-1.2	-0.2	+ 0.4	+ 0.6	+ 0°8	+ 0.8	-0.3	+ 2.0
" 8	33	-1.8	-2.0	-1.6	-0.6	-0.4	-0.2	—	+ 0.4	-0.9	+ 1.6
" 15	38	-8.4	-5.8	-3.2	-1.4	-0.8	-0.4	+ 0.0	+ 0.1	-2.5	+ 1.3
" 22	37	-1.6	-1.8	-1.2	-0.6	-0.4	+ 0.0	—	+ 0.3	-1.6	+ 1.0
Mars 1	43	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	—	—	+ 0.3	-1.0	+ 1.0
" 8	34	-5.2	-1.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	+ 0.0	+ 0.3	-0.5	+ 1.2
" 15	35	+ 0.0	+ 0.0	+ 0.0	—	—	—	—	—	-0.8	+ 1.2
" 22	32	-3.0	-2.4	-1.8	-0.4	+ 0.0	+ 0.1	—	+ 0.4	-0.4	+ 1.2
" 29	35	+ 0.0	-1.4	-0.8	-0.2	+ 0.0	+ 0.0	—	+ 0.4	-0.1	+ 1.2
Avril 5	32	+ 0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	+ 0.0	—	+ 0.1	-0.2	+ 1.3
" 12	35	+ 0.0	-1.2	-0.7	-0.1	-0.1	+ 0.0	—	+ 0.2	+ 0.0	+ 1.4

Des mesures concernant spécialement l'étude des variations de la température du sol et de celle de la couverture de neige au voisinage de la surface de séparation ont été faites également à la Station I et figurent au Tab. 9. Elles n'ont pas néanmoins été prises toujours au même point. Lors de chaque observation une nouvelle entaille verticale était pratiquée dans la couverture de neige en un point où celle-ci était intacte. Les ther-

momètres étaient introduits horizontalement dans cette entaille et suivant une même ligne verticale. Dans le sol ils étaient enfoncés verticalement. Les mesures ont été prises en général tout les 7 jours vers 2 heures du soir.

On voit d'après le Tab. 9 qu'à une profondeur de 20 cm la température du sol a toujours été positive sous cette couverture de neige dont l'épaisseur a varié de 30 à 43 cm, et qu'à une profondeur de 10 cm la température fut inférieure à 0° en 3 cas seulement. Le 8 et le 15 Mars la surface du sol se trouva gelée, mais pendant tout l'hiver le gel ne put descendre à plus de 10 cm au-dessous de la surface. Il est intéressant de comparer ces résultats avec les mesures de la température du sol à $0^{\text{m}},5$ et $1^{\text{m}},0$ de profondeur prises à l'Observatoire Météorologique en un point où le sol est maintenu toujours libre de neige dans un espace de 3 m^2 environ autour des thermomètres. Dès le 31 Janvier la température était négative à la profondeur de $0^{\text{m}},5$, et resta inférieure à 0° par la suite jusqu'au 6 Avril. Le sol gela ainsi à plus de $0^{\text{m}},5$ en cet endroit qui n'était pas protégé par une couverture de neige. La température minima à la profondeur de $1^{\text{m}},0$ était de $+1^{\circ},0$ à la fin de Février et au commencement de Mars.

Pour les valeurs absolues, les maxima et les minima de la température de la couverture de neige à différentes hauteurs au-dessus du sol et pour le détail des variations de ces températures, voir le Tab. 9.

Poids spécifique de la couverture de neige.

Concurremment avec les observations de la température dont les résultats sont consignés dans le Tab. 9 furent faites des observations en vue de mesurer le poids spécifique de la couverture de neige. Dans ce but il fut prélevé des échantillons de neige à l'aide d'un cylindre circulaire dont le diamètre était de 5,75 cm et la hauteur de 19,7 cm et par suite le volume 512 cm^3 . Pour prélever l'échantillon, le cylindre était enfoncé horizontalement dans le sens de sa longueur dans la couverture de neige. L'échantillon était ensuite sectionné aux extrémités du cylindre à l'aide d'une plaque en tôle et pesé avec le cylindre. Connaissant le poids et le volume du cylindre, on pouvait ainsi calculer le poids spécifique moyen de l'échantillon.

Le poids spécifique était déterminé à trois niveaux différents de la couverture de neige. Les résultats de ces mesures figurent dans le Tab. 10. Chaque valeur est la moyenne de deux mesures prises indépendamment l'une de l'autre au même niveau. Le tableau indique aussi à quel niveau au-dessus du sol les mesures ont été opérées, et en outre quelle était l'épaisseur de la couverture de neige à l'endroit où l'entaille était faite.

Toutes ces déterminations du poids spécifique se rapportent à des neiges anciennes. Quelques mesures du poids spécifique de la nouvelle neige seront données dans ce qui va suivre. Le Tab. 10 montre très claire-

ment que le poids spécifique s'accrut au cours de l'hiver. On constate dans cet accroissement deux discontinuités, entre les 5 et 11, et entre les 18 et 25 Janvier. La première fut causée par le dégel des 8—10 Janvier et la seconde par le dégel des 23—25 Janvier. Pendant ces périodes de dégel où la couverture de neige demeura constamment à 0° son épaisseur s'abassa de 46,3 à 41,6 cm et de 42,4 à 31,9 cm (Tab. 1) et en même temps la neige subit une modification de sa structure de sorte qu'elle se présenta en forme de grains assez gros tandis qu'elle se composait auparavant d'une masse amorphe ou peut-être de grains fins dans les couches inférieures.

Tab. 10.

Date	Épaisseur de la couverture de neige	Poids spécifique de la couverture de neige au			Hauteur au-dessus du sol au			Poids sp. moyen d'une couche de 20 cm	
		Niveau I	Niveau II	Niveau III	Niveau I	Niveau II	Niveau III		
1902									
Janvier	5	38	0.209	0.267	0.269	28	18	8	0.268
"	11	39	0.262	0.260	0.330	30	20	10	0.295
"	18	35	0.196	0.285	0.312	30	15	8	0.299
"	25	30	0.361	0.353	0.333	25	15	8	0.343
Février	1	31	0.332	0.342	0.327	25	15	8	0.335
"	8	33	0.317	0.338	0.330	25	15	8	0.334
"	15	39	0.338	0.332	0.309	25	15	8	0.320
"	22	37	0.248	0.343	0.324	33	15	6	0.333
Mars	1	43	0.297	0.307	0.342	30	15	6	0.324
"	8	34	0.299	0.336	0.365	30	15	6	0.350
"	15	35	0.360	0.379	0.342	30	20	10	0.360
"	22	32	0.386	0.362	0.377	25	15	5	0.370
"	29	35	0.322	0.350	0.388	26	17	4	0.369
Avril	5	32	0.375	0.380	0.365	27	14	5	0.372

L'accroissement du poids spécifique paraît pouvoir être attribué en partie à ce fait que la couverture de neige poreuse étant arrivée à 0° et par suite soumise à une cohésion moindre, puisque ses diverses parties n'étaient plus maintenues par le gel en corps solide, s'affaissait sous le poids des couches supérieures. L'accroissement est dû aussi en partie, à ce fait que l'eau provenant de la fusion des couches supérieures où l'apport de chaleur était plus considérable était absorbée par les couches inférieures et contribuait ainsi à modifier la structure intérieure.

La moyenne des mesures du poids spécifique aux deux niveaux inférieurs, qui est donnée dans la dernière colonne du Tab. 10, peut être considérée comme représentant approximativement le poids spécifique de la couche de neige épaisse de 20 cm la plus rapprochée au sol. On retrouve ici les deux discontinuités susindiquées, et en outre on constate que l'accroissement du poids spécifique était lent, mais assez régulier depuis le début de Mars. Pendant ce temps la température de la couverture de neige est devenue souvent 0°.

Au cours des mesures du 12 Avril le cylindre ci-dessus décrit qui servait à prélever les échantillons fut avarié par suite de la dureté de la neige congelée. On s'en procura un autre de 40 cm de hauteur et de 16 cm de diamètre. Avec ce second cylindre les échantillons furent prélevés verticalement dans toute l'épaisseur de la couverture de neige et le poids spécifique moyen de celle-ci déterminé au moyen de pesées. Le poids spécifique moyen se trouva être de 0,397 le 16, et de 0,385 le 19 Avril. L'épaisseur de la couverture de neige atteignit respectivement 16 et 10 cm aux endroits où furent pris les échantillons. Le poids spécifique de la couche inférieure s'accrut ainsi constamment pendant la fonte. En 1901, le poids spécifique moyen maximum de la couverture de neige de la Station I fut 0,354. La couverture de neige fut aussi un peu moins épaisse cet hiver-là. La densité d'une couverture de neige même peu épaisse de la terre basse peut ainsi dans les couches inférieures se rapprocher notablement de la densité de la neige des névés.

Les variations du poids spécifique dans une couche de neige récemment tombée n'ont pu être mesurées que dans un petit nombre de cas. Entre le 10 et le 12 Février, il se forma une couche de neige nouvelle pendant que la température de l'air était assez basse et la force du vent très faible. Aussi cette nouvelle couche était-elle exceptionnellement poreuse en même temps qu'homogène, et particulièrement favorable à l'étude des variations du poids spécifique. La neige était si molle que le cylindre ci-dessus décrit ne put être employé pour prélever les échantillons parce que la neige se tassait à l'entrée du cylindre sans pénétrer dans l'intérieur lorsqu'on l'enfonçait dans la couverture de neige. On eut recours à une plaque en tôle de 25 cm de côté qui fut enfoncée sous la nouvelle neige à la surface de la neige ancienne. On découpa ensuite un échantillon en forme de parallépipède rectangulaire ayant la plaque comme base et l'épaisseur de la couche de neige comme hauteur. On évita ainsi complètement le tassement de la couche de neige. Ayant mesuré les dimensions et le poids du parallépipède on a calculé le poids spécifique. Chacune des valeurs du poids spécifique qui figurent dans le Tab. 11 est la moyenne de 5 mesures différentes. On a indiqué, en outre, l'erreur probable des valeurs moyennes du poids spécifique, l'épaisseur et la température de la nouvelle couche de neige aux heures où les mesures ont été opérées.

On constate qu'il y eut accroissement continu du poids spécifique, que pour la neige la plus poreuse l'accroissement fut relativement rapide, bien qu'au début la température de l'air et celle de la neige ne fussent pas supérieures à -10° et à -9° . Enfin, on voit que la densité pendant la chute de neige varia entre 0,0384 et 0,0844. Entre le 12 et le 16, après les chutes, l'accroissement continua, mais fut très irrégulier. En moyenne sa valeur fut 0,018 par 24 heures.

La grandeur considérable du gradient de la température dans la couche de la nouvelle neige est digne d'être mentionnée. On voit d'après

le Tab. II qu'elle fut le 11 Février au maximum de $15^{\circ},4$ pour une épaisseur de 13,0 cm ou $1^{\circ},2$ par cm, ce qui prouve que cette neige était très peu conductrice de la chaleur. Pour la densité en question 0,063 de la couverture de neige le coefficient de conductibilité est $0^{\circ},00017$ ¹. Par comparaison on peut noter que la valeur de ce coefficient est pour l'air 0,00005 et pour la glace 0,00568.

Tab. II.

Date	Heure	Couche de la nouvelle neige				Hauteur à midi des précipitations des 24 heures antérieures	Remarques
		Épaisseur	Température		Poids spécifique		
			à la surface	au fond			
1902		cm				mm	Temp. de l'air
Février 10	2h45m s	8	—	—	0.0384 ± 0.0023	0.87	* : ... 6 m—1 s — 12°
" "	6.25 s	8.4	— 9° 2	— 5° 4	0.0476 ± 0.0025	—	* : 6—6.30 s — 12°
" "	11.30 s	8.9	— 9.2	— 6.2	0.0600 ± 0.0010	—	* : 8.30 s—minuit... — 11°
" 11	11.25 m	13.9	— 9.4	— 5.2	0.0615 ± 0.0009	4.92	* : ... 6—11 m — 12°
" "	6.25 s	13.0	— 22.4	— 7.0	0.0630 ± 0.0009	—	
" 12	10.25 m	11.4	— 5.0	— 3,5	0.0844 ± 0.0009	0.90	* : 5.30—7.45 m — 4°
" "	6.25 s	10.6	— 11.0	— 4.6	0.0921 ± 0.0009	—	
" 13	1.40 s	9.4	— 8.0	— 4.2	0.1111 ± 0.0018	0.00	
" 14	10.30 m	9.0	— 11.2	— 7.6	0.1121 ± 0.0016	0.00	
" 15	11.20 m	8.6	— 9.2	— 8.4	0.1210 ± 0.0009	0.00	
" 16	1.0 s	8.2	± 0.0	— 1.2	0.1403 ± 0.0021	0.06	

À la fin de Février et au début de Mars survinrent plusieurs chutes de neige en partie mêlée de pluie. La température de l'air était près de 0° , et la neige qui tombait était parfois humide. Le poids spécifique de cette nouvelle couche fut mesurée en deux points A et B, situés auprès du pluviomètre normal, selon la méthode employée pour les mesures correspondantes du Tab. II. Chacune des valeurs données du poids spécifique dans le Tab. 12 est la moyenne de deux mesures prises indépendamment l'une de l'autre. Le 27 Février où la température de l'air était inférieure à 0° lors de la chute de neige le poids spécifique de la nouvelle couche fut 0,077, le 28, où la température de l'air était partiellement supérieure à 0° , le poids spécifique fut 0,099. Enfin le 1 Mars le poids spécifique fut 0,161, quand la neige tombée était en partie mêlée de pluie et monta à 0,204 après une chute de pluie de 2,91 mm. Cette valeur ne subit aucune variation pendant les jours suivants lorsque la nouvelle couche de neige fut gelée.

¹ M. JANSSON: Ueber die Wärmeleitungsfähigkeit des Schnees. (Öfvers. Kongl. Vet. Akad. Förh., Stockholm, 1901.)

Tab. 12.

Date	Heure	Couche de la nouvelle neige				Hauteur à midi des précipitations des 24 heures antérieures	Remarques
		Épais- seur	Poids spécifique				
			Point A	Point B	Moyenne		
1902		cm				mm	
Février 27	5 h s	7	0.0804	0.0735	0.0770	1.84	* : 3 m—2.15 s
"	28 5 s	9	0.1019	0.0958	0.0989	6.47	* : 8.15 m—1 s, ☉ : 9.30—10.30 s
Mars 1	1 s	6.5	0.1643	0.1574	0.1609	1.29	*° : 2.15—4 m, ☉ : 5—8.20 s
"	2 1 s	4.5	0.2153	0.1933	0.2043	2.91	*° : au soir
"	3 midi	4.5	0.2027	0.2028	0.2028	0.19	*° : au matin, 3 s
"	4 1 s	4.7	0.2055	0.2047	0.2051	0.32	

Le 25 Mars survint une chute de neige en partie humide bien que la température de l'air fût d'environ -3° et 6 heures après le début de la chute la nouvelle couche avait 8 cm d'épaisseur. Trois mesures de son poids spécifique ont donné 0,0907, 0,0878 et 0,0881 ou en moyenne 0,0889. Après 24 heures le poids spécifique se trouva être 0,1489, moyenne de cinq mesures.

D'après nos mesures la valeur du poids spécifique d'une couche de neige récente humide peut s'élever à 0,161. Par basse température elle peut s'abaisser jusqu'à 0,038. Ainsi la valeur maxima est quatre fois plus grande que la valeur minima.

Tab. 13.

Date	Heure	Poids spécifique de la neige en tassement compact		Date	Heure	Poids spécifique de la neige en tassement compact	
		Point A	Point B			Point A	Point B
1902				1902			
Février 17	0h 30m s	0.3732	0.3847	Mars 1	1 h s	—	0.3977
"	19 midi	0.3795	0.3899	"	3 midi	0.3917	0.3937
"	21 midi	0.3732	0.3805	"	6 midi	0.4006	0.4135
"	23 midi	0.3888	0.3937	"	8 midi	—	0.4095
"	25 1 s	0.3760	0.3938	"	10 midi	—	0.4292
"	27 5 s	0.3888	0.3967	"	13 midi	—	0.4253

Le 16 Février par une tempête violente avec une vitesse maxima de 10,9 m. p. s. (moyenne horaire), il se forma ici et là des amoncellements de neige compacts. Nous mesurâmes le poids spécifique et ses variations en deux des amoncellements les plus résistants et les plus homogènes que nous pûmes trouver. Les résultats de ces mesures figurent dans le Tab. 13. On voit que le poids spécifique de cette neige amoncelée par les tourbillons est très considérable. Néanmoins il se produisit un accroissement qui pourtant ne peut être dû au tassement causé par le propre poids de la couverture de neige à cause de la grande résistance de ces

amoncellements. La structure interne de ces amoncellements subit pendant la durée des observations (Tab. 13) une modification profonde. Le 17 Février la neige formait une masse amorphe peut-être composée de grains très fins, mais après le dégel du 28 Février et du 1^{er} Mars elle se transforma rapidement et apparut constituée de gros grains qui se prirent ensuite en une masse compacte dont le poids spécifique était notablement supérieur à celui de la masse amorphe primitive, comme le montre le Tab. 13. Amollie par le dégel et de nouveau prise en une croûte très résistante, elle présenta les 21 et 29 Mars des poids spécifiques respectifs de 0,489 et 0,482. La première valeur représente le maximum absolu pour toutes les mesures du poids spécifique de la couverture de neige relevées au cours de l'hiver.

Influence de la condensation et de l'évaporation sur l'épaisseur de la couche de neige.

Nous avons essayé de mesurer l'évaporation de la couverture de neige de la manière suivante. Des tranches de neige de $15,5 \times 22 \text{ cm}^2$ de surface et d'environ 4 cm d'épaisseur étaient découpées et placées dans des cuvettes de mêmes dimensions. Ces cuvettes émaillées et blanches à l'intérieur étaient disposées dans la couverture de neige de sorte que la surface de la neige y contenue fût dans le même plan que la surface de la couverture de neige environnante. On peut admettre que l'évaporation et la condensation étaient les mêmes à la surface de la neige des cuvettes et à la surface de la couverture de neige environnante. Pour mesurer l'évaporation on pesa les cuvettes chaque jour à midi pendant le mois de Février et la moitié de Mars; par la suite les mesures furent généralement plus fréquentes, les échantillons de neige devant être renouvelés à cause de la facilité avec laquelle ils se liquéfiaient par temps doux et forte insolation. Souvent, il était impossible d'éviter la fusion. L'évaporation mesurée était alors la somme de l'évaporation de la neige qui demeurait et de l'eau de fusion. Les mesures de l'évaporation en Mars et en Avril, étant en partie affectées par cette erreur, ne représentent pas, il est vrai, l'évaporation de la neige, mais sont les limites supérieures de cette quantité et gardent ainsi une certaine valeur puisque ces limites sont très basses.

De ces mesures nous ne donnons dans le Tab. 14 que celles qui se rapportent aux jours où il n'y a pas eu de chute de neige ou de pluie. L'évaporation et la condensation étant des quantités très petites, leur détermination aurait été trop incertaine, si les variations de poids des cuvettes avaient dû subir des corrections en raison des précipitations atmosphériques. Dans le Tab. 14 sont consignées toutes les mesures prises du 18 au 26 Février. Pendant cette période il n'y eut aucune précipitation, le ciel fut presque constamment couvert pendant le jour, et la température de l'air demeura toujours inférieure à 0°. La condensation est désignée par le signe + et l'évaporation par le signe —.

Tab. 14.

Date	Condensation (+) et évaporation (-) des 24 heures antérieures, à midi							Variations de l'épaisseur de la couverture de neige à la Station I	Humidité de l'air	
	Cuvette				Parallépipède				Absolue	Relative
	N:o 1	N:o 2	N:o 3	Moy.	N:o 1	N:o 2	Moy.			
1902	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm	mm	pour cent
Février 18	+ 0.00	+ 0.03	- 0.03	+ 0.00	- 0.21	- 0.23	- 0.22	- 0.06	2.50	92.3
" 19	+ 0.15	+ 0.18	+ 0.21	+ 0.18	+ 0.03	+ 0.03	+ 0.03	- 0.10	2.09	94.3
" 20	- 0.12	- 0.15	- 0.15	- 0.14	- 0.17	- 0.11	- 0.14	- 0.12	2.98	97.8
" 21	- 0.09	- 0.15	- 0.06	- 0.10	- 0.05	- 0.06	- 0.06	- 0.02	2.88	99.7
" 22	- 0.09	+ 0.00	- 0.15	- 0.08	- 0.60	- 0.44	- 0.52	- 0.22	3.17	92.2
" 23	- 0.21	- 0.29	- 0.26	- 0.26	- 0.55	- 0.41	- 0.48	- 0.08	3.71	91.8
" 24	+ 0.15	+ 0.15	+ 0.12	+ 0.14	+ 0.09	+ 0.02	+ 0.06	+ 0.02	2.89	98.3
" 25	+ 0.06	+ 0.09	+ 0.06	+ 0.07	- 0.25	-	- 0.25	- 0.04	3.03	96.2
" 26	- 0.09	- 0.07	- 0.09	- 0.08	- 0.11	-	- 0.11	- 0.10	2.99	99.0
				Moy - 0.03			- 0.19	- 0.08		

En vue de contrôler dans une certaine mesure ces observations, il fut découpé dans la couverture de neige deux parallépipèdes rectangulaires dont l'un, N:o 1, présentait les dimensions 19 x 13,5 x 9 cm, et le second, N:o 2, les dimensions 22 x 14 x 10 cm. Les parallépipèdes furent suspendus à l'aide d'un fil métallique à une hauteur d'environ 1 m au-dessus du sol en un endroit découvert et dans le voisinage des cuvettes sus-indiquées. Peu à peu leur forme changea, de sorte que la détermination de leurs surfaces devint incertaine. Toutefois l'incertitude ainsi causée dans les mesures de l'évaporation et de la condensation aux surfaces des parallépipèdes reproduites dans le Tab. 14 ne peut dépasser quelque centièmes de leurs valeurs.

Une troisième méthode pour évaluer l'évaporation nous est fournie par les mesures des variations d'épaisseur de la couverture de neige les jours calmes où il n'y eut pas de précipitation atmosphérique, comme ce fut le cas entre le 17 et le 26 Février. Le Tab. 14 comprend pour cette période les variations d'épaisseur prises à la Station I, qui était l'emplacement choisi pour toutes les mesures de l'évaporation.

On reconnaît que les mesures prises à l'aide des cuvettes ont donné, pour les valeurs de l'évaporation et de la condensation, des résultats sensiblement concordants; de même les mesures prises à l'aide des parallépipèdes. Ceux-ci fournissent cependant des valeurs un peu supérieures ce qui s'explique par ce fait que les parallépipèdes, suspendus à l'air libre, étaient exposés à une ventilation plus forte que la surface de la neige enfermée dans les cuvettes. En outre les surfaces des parallépipèdes étaient devenues fort inégales, et il a pu arriver très facilement que de minces fragments s'en soient détachés. Les valeurs données pour les parallépipèdes doivent par conséquent être considérées comme des maxima en ce qui concerne l'évaporation et des minima en ce qui concerne la condensa-

tion. Enfin, le poids spécifique de la couverture de neige étant 0,3, une variation moyenne de 0,08 cm, de son épaisseur correspond à une évaporation de 0°,02 mm (eau), valeur très voisine de celle qui a été obtenue à l'aide des cuvettes.

Il est donc évident qu'au total l'influence combinée de l'évaporation et de la condensation sur les variations de l'équivalent d'eau de la couverture de neige pendant la durée des observations ne dépassa pas en moyenne 0,1 mm (eau) par 24 heures. Etant donné que ces résultats ont été obtenus pendant une période durant laquelle il n'y eut aucune précipitation atmosphérique, et que, selon toute probabilité, la dite influence ne peut être plus considérable par temps de neige ou de pluie, on doit en conclure que les variations de l'équivalent d'eau de la couverture de neige dues à l'évaporation ont été très petites pendant le début froid et nuageux de l'hiver, et n'ont pas dépassé 0,1 mm (eau) par 24 heures en moyenne. Naturellement nous ne voulons pas dire par là qu'en certains cas l'évaporation ne puisse être considérable à la surface de la neige, par exemple en cas de foehn.

Tab. 15.

Date	Limite supérieure de l'évaporation en 24 heures	Humidité de l'air		Date	Limite supérieure de l'évaporation de 24 heures	Humidité de l'air	
		Absolute	Relative			Absolute	Relative
1902	mm	mm	pour cent	1902	mm	mm	pour cent
Mars 13	— 0.23	1.8	83	Avril 1	— 0.21	3.1	91
" 14	— 0.46	2.9	75	" 2	— 0.11	2.9	93
" 15	— 0.45	3.6	78	" 3	— 0.32	2.9	89
" 16	— 0.14	4.0	90	" 4	— 0.25	3.2	81
" 29	— 0.22	2.3	86	" 6	— 0.32	3.2	84
" 31	— 0.13	3.0	80	" 7	— 0.34	3.2	70
	<i>Moy — 0.27</i>			" 12	— 0.36	2.5	74
				" 16	— 0.56	3.5	71
				" 17	— 0.41	3.7	72
					<i>Moy — 0.32</i>		

Les mesures de l'évaporation continuèrent à l'aide des trois cuvettes en Mars et en Avril. Les résultats figurent dans le Tab. 15 où l'on n'a reproduit toutefois que la moyenne pour chaque jour des trois mesures. Les valeurs doivent pour la raison exposée plus haut être considérées comme indiquant les limites supérieures de l'évaporation de la neige superficielle. On voit que la moyenne fut pour la dernière partie de Mars — 0,27 et pour la première partie d'Avril — 0,32 mm par 24 heures.

En dernier résultat, il ressort de toutes ces mesures que la diminution totale de l'équivalent d'eau de la couverture de neige par suite de l'action combinée de la condensation et de l'évaporation ne peut avoir été supérieure à 0,15 mm (eau) par 24 heures en moyenne pendant tout l'hiver.

Probablement la diminution fut beaucoup moindre. Il en ressort également que dans les mêmes conditions une couche de neige de densité 0,3 ne peut décroître par suite de cette action combinée de plus de 1,5 cm par mois. L'influence de la condensation et de l'évaporation sur l'épaisseur de la couverture de neige est, par conséquent, fort petite en général. Ce résultat concorde avec celui qui fut obtenu au même endroit au printemps de 1901¹.

Fonte de la couverture de neige.

Les mesures de la densité de la couverture de neige (Tab. 10) furent prises à 15 m environ de l'emplacement où étaient relevées les mesures d'épaisseur (Tab. 1). Si l'on compare les deux tableaux, on constate que l'épaisseur de la couverture de neige était à peu près la même aux deux endroits. On peut par conséquent admettre sans risquer d'erreur sérieuse que la densité de la couverture de neige était aussi la même, en dehors peut-être d'une couche superficielle. À l'aide du Tab. 10 et des observations relatives à la couche superficielle faites lors des mesures journalières de l'épaisseur, on a calculé la densité moyenne de la couverture de neige; ensuite, connaissant son épaisseur, on a aussi déterminé son équivalent d'eau tous les sept jours pendant tout l'hiver. Il a été rendu compte plus haut de la détermination de la densité moyenne pour les 16 et 19 Avril. Le résultat de ces calculs figure au Tab. 16 où l'on a indiqué aussi les totaux des précipitations jusqu'aux mêmes jours, en admettant que le total des précipitations jusqu'au 5 Janvier était égal à l'équivalent d'eau de la couverture de neige, c.-à-d. à 93 mm. Le tableau montre que l'équivalent d'eau de la couverture de neige monte constamment de 93 mm le 5 Janvier à 132 mm le 22 Mars, demeure identique jusque vers le 12 Avril, pour retomber ensuite en 8 jours à zéro par suite de fusion complète. La quantité d'eau mise ainsi en liberté correspondait à une précipitation de 133 mm.

Tab. 16.

Date	Équivalent d'eau de la couverture de neige	Total des précipitations	Date	Équivalent d'eau de la couverture de neige	Total des précipitations
1902	mm.	mm.	1902	mm.	mm.
Janvier 5	93	93	Mars 1	120	130
" 11	108	103	" 8	117	142
" 18	108	105	" 15	121	142
" 25	111	110	" 22	132	154
Février 1	102	111	" 29	132	172
" 8	104	113	Avril 5	133	172
" 15	107	120	" 12	133	175
" 22	114	120	" 16	101	175
			" 19	48	175

¹ J. WESTMAN: l. c.

Si l'on compare les équivalents d'eau de la couverture de neige tous les 7 jours et les totaux des précipitations correspondants dans le Tab. 16, on constate que les seconds sont notablement supérieurs aux premiers à partir du 1^{er} Février. Comme il a été précédemment démontré que l'action combinée de la condensation et de l'évaporation est de peu d'importance, ces phénomènes ne peuvent pas être l'unique cause de la différence citée.

Pendant le mois de Mars la couverture de neige était parfois tout entière à la température de zéro, et l'on pourrait incliner à conclure de là qu'il se produisait alors un écoulement ou une absorption par le sol de la quantité d'eau nécessaire pour expliquer la différence en question. Toutefois il est à noter que cette explication ne saurait être valable pour Février ni pour la période comprise entre les 8—15 Mars, temps pendant lesquels la couverture de neige n'atteignait jamais la température de zéro, sans que cependant la différence ait cessé de croître. D'un autre côté cette différence ne s'accrut pas du tout pendant la deuxième partie de Mars, bien que la couverture de neige ait tout entière atteint la température de zéro pendant plusieurs journées.

Il paraît donc nécessaire d'attribuer cette différence entre les totaux des précipitations et l'équivalent d'eau de la couverture de neige à des déplacements de neige sous l'action mécanique du vent qui fait amonceler la neige dans les interstices du sol et dans les endroits abrités contre le vent.

Ainsi que le montre le Tab. 1, la période de fonte peut être comptée du 10 au 20 Avril. La vitesse moyenne de la fonte en 24 heures pendant cette période fut 3,3 cm à la Station I, et 2,8 cm, à la Station II, la vitesse maxima 7,6 et 7,5 cm. En 1901 la fonte survint entre le 10 et le 24 Mars c.-à-d. un mois plus tôt et donna des valeurs très inférieures, savoir: 1,3 cm en moyenne, et 3,9 cm au maximum.

La fonte fut plus rapide autour des arbres du jardin de l'Observatoire Météorologique que sur les espaces libres. Dès le 11 Avril les arbres étaient entourés d'anneaux de sol nu. Le même jour on observa très nettement dans un cercle mesuré par la longueur des branches l'influence de la chaleur diffuse provenant des arbres, sous lesquels le sol fut libre dès le 14 Avril.

On sait qu'une couverture de neige dont la surface est souillée fond plus vite que celle dont la surface est toute blanche, la neige réfléchissant plus et absorbant moins de chaleur que les corps obscurs parsemés sur la surface. Dans les régions de glacier le même fait apparaît nettement pour la glace et est d'une très grande importance pour la fonte des glaciers. Nous essayâmes de nous faire une idée de l'influence sur la fonte de pareils corps étrangers parsemés sur la surface. Le 25 Janvier nous mesurâmes sur la surface de la neige et à côté les un des autres 8 carrés de 0,5 m de côté et sur chacun d'eux nous répandîmes aussi également que possible 1000, 500, 250, 125, 100, 75, 50, 25 gr de sable

qui avait été préalablement fortement desséché puis passé dans un tamis métallique dont les mailles mesuraient 1,7 mm de côté. Sur un neuvième carré de mêmes dimensions on répandit 500 gr de sable plus grossier qui passait des mailles de 2,5 mm de côté mais non celles de 1,7 mm de côté. Dans les carrés N:o 1, N:o 2 et N:o 9 la surface de neige fut complètement couverte par la couche de sable, dans le carré N:o 8 la petite quantité de sable ne put que donner à la surface une couleur grisâtre.

Tab. 17.

Date	Heure	Variation de l'épaisseur de la neige sous le sable								
		Carré N:o 1 Sable 1000 gr	N:o 2 500 gr	N:o 3 250 gr	N:o 4 125 gr	N:o 5 100 gr	N:o 6 75 gr	N:o 7 50 gr	N:o 8 25 gr	N:o 9 500 gr
1902		cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
Janvier 25	8 ^h s	29.6	28.4	31.9	34.0	29.1	26.1	27.0	28.0	28.7
Février 6	1 s	29.8	28.4	31.3	34.7	30.0	27.3	27.8	27.7	28.7
Avril 17	midi	22.0	22.0	22.0	—	—	20.8	21.2	21.5	21.2
" "	6 s	11.0	9.0	11.0	24.8	20.8	13.5	11.8	13.8	11.2
" "	1 s	6.3	3.3	3.8	12.4	12.9	6.2	6.9	—	7.8
" "	6 s	0.0	0.0	0.0	—	—	—	—	—	0.0

Le Tab. 17 donne l'épaisseur de la neige sous les carrés. On voit que l'épaisseur s'accrut un peu par les précipitations au début. L'absorption de la chaleur pendant les journées par exemple les 28 et 31 Janvier et les 3 et 5 Février ne suffit pas pour produire un affaissement de l'épaisseur de la couverture de neige sous les carrés, la température étant trop basse (Tab. 1). Le 11 Février les carrés furent complètement couverts de neige. Ils redevinrent visibles, sauf deux, le 17 Avril au matin. Les mesures suivantes relatives à l'épaisseur de la couche de neige sous la surface des carrés montrent que la fonte fut remarquablement énergique surtout pendant les premières heures après leur réapparition, durant lesquelles la diminution de la couverture de neige fut quatre fois plus considérable dans les carrés qu'autour d'eux. On constate en moyenne

Heure	Fonte dans les carrés sous le sable	Fonte autour des carrés de la neige libre.
Avril 17: midi — 6 ^h s	10.1 cm	2.5 cm
» 17: midi — 19:1 ^h s	15.2 cm	9.1 cm

Lors de leur réapparition, les carrés étaient à environ 6 cm plus bas que la neige environnante, ce qui démontre que par suite de la diathermanité de la neige il s'était produit une fonte à l'intérieur de la couverture de neige.

Quant à l'influence de l'épaisseur de la couche de sable sur la rapidité de la fonte de la neige, on déduit du Tab. 17 le résultat compris dans le Tab. 18. Le nombre des mesures est trop petit, il est vrai, pour permettre des conclusions sûres. Cependant, il est digne d'être mentionné qu'un maximum de fonte paraît s'être produit sous la couche de sable des

carrés intermédiaires. À juger de ces mesures, le maximum absolu de la fonte est atteint quand la quantité de sable est de 0,5 kg sur 1 m^2 (carré N:o 4) ce qui fait une couche de quelques dixièmes de mm, si les grains sont suffisamment petits et la surface de la neige tout à fait unie. Comme

Tab. 18.

Date	Vitesse de la fonte de la neige sous le sable en cm par 24 heures								
	Carre N:o 1 Sable 1000 gr	N:o 2 500 gr	N:o 3 250 gr	N:o 4 125 gr	N:o 5 100 gr	N:o 6 75 gr	N:o 7 50 gr	N:o 8 25 gr	N:o 9 500 gr
1902									
$^{17}/_4$ midi— $^{17}/_4$ 6 s	11.0	13.0	11.0	—	—	7.3	9.4	7.7	19.0
$^{17}/_4$ 6 s— $^{19}/_4$ 1 s	4.7	5.7	7.2	12.4	7.9	7.3	4.9	—	3.4
$^{17}/_4$ midi— $^{19}/_4$ 1 s	15.7	18.7	18.2	—	—	14.6	14.3	—	13.4

les grains étaient dans le cas actuel assez gros, les mailles du tamis étant de 1,7 mm, la couche de sable n'était pas continue. Il va de soi qu'il y a une limite où une telle couche de sable cesse d'accélérer la fonte. Cette limite n'a pas été atteinte par la couche de sable du carré N:o 1 laquelle était la plus épaisse et correspondait à 4 kg de sable sur 1 m^2 .