

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
<b>Herausgeber:</b>	Société Vaudoise des Sciences Naturelles
<b>Band:</b>	68 (1962-1964)
<b>Heft:</b>	306
<b>Artikel:</b>	Essai de datation par le Tritium des couches de névé du Jungfraufirn et détermination de l'accumulation annuelle
<b>Autor:</b>	Oeschger, Hans / Renaud, André / Schumacher, Ernst
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-275424">https://doi.org/10.5169/seals-275424</a>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 14.01.2026

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

# Essai de datation par le Tritium des couches de névé du Jungfraufirn et détermination de l'accumulation annuelle

PAR

HANS OESCHGER (Berne), ANDRÉ RENAUD (Lausanne) et  
ERNST SCHUMACHER (Zurich)

SKA 87.550.9  
40.551.32

## *Abstract*

After discussing the processes commonly used for direct measurement of the annual accumulation on alpine glaciers, the authors explain the principles of the physical analysis based upon the determination of the age of snow layers according to the amount of radioactive Tritium.

A first attempt was made in 1957 on the Jungfraufirn (Switzerland) in order to study the technological aspects of this new method in view of its systematic application on the Greenland Ice-Cape (E.G.I.G. 1957-1960). The mean rate of the annual accumulation for the Jungfraufirn (rate of 134 cm  $\pm$  10 cm) is then discussed.

## 1. LE PROBLÈME GLACIOLOGIQUE

1.1 Le régime d'un glacier est déterminé par son bilan de masse, somme de deux facteurs :

$$B_m = A_c + A_b$$

$A_c$  = Accumulation (+)

$A_b$  = Ablation (-)

Le glacier est en crue si  $B_m$  est (+), stationnaire si  $B_m = 0$  et en décrue si  $B_m$  est (-).

1.2 Le facteur principal de l'ablation est constitué par la fonte de la glace due à l'énergie calorifique absorbée par la surface. Les premières mesures qui remontent à 1840 (1) ont été dès lors beaucoup développées.

1.3 Les observations sur l'accumulation sont en revanche beaucoup plus récentes et n'ont été entreprises qu'à partir de 1902, notamment par P.-L. MERCANTON (2). On utilisa tout d'abord des nivomètres, échelles verticales peintes sur des parois rocheuses en bordure des névés, puis des balises installées temporairement à la surface de la neige. Cette

méthode a été considérablement perfectionnée et utilisée systématiquement au Glacier d'Aletsch depuis 1940 (3). Elle permet de déterminer la hauteur de la couche résiduelle annuelle de neige et sa valeur en eau. L'épandage en automne d'une poudre colorée à la surface du névé permet de retrouver ultérieurement ce niveau de référence. Enfin, les poudres sont souvent remplacées par un treillis métallique.

Malgré leur intérêt, tous ces procédés ne fournissent que des observations limitées à des stations de mesure choisies par avance et excluent toute possibilité d'investigation dans le passé.

SELIGMAN (3) a comblé cette lacune en creusant dans le Jungfraufirn un puits destiné à retrouver les anciennes couches (4). Cette méthode s'est dès lors répandue, spécialement dans les régions polaires où l'accumulation généralement plus faible permet de retrouver facilement des couches datant de dix à vingt années. Un perfectionnement récent a été apporté par l'introduction de procédés de forage. Il n'en demeure pas moins souvent difficile de distinguer les couches annuelles ou saisonnières par des critères morphologiques (granulation, dureté) ou physiques (densité). Cette discrimination est particulièrement difficile pour les couches profondes dont la texture originale est effacée par les effets de la pression et les divers facteurs de métamorphose du névé en glace proprement dite.

1.4 Ces diverses considérations expliquent que, lors de l'élaboration du programme scientifique de l'*Expédition glaciologique internationale au Groenland 1957-1960 (E.G.I.G.)* nous avons été conduits à rechercher une méthode nouvelle pour la détermination de l'accumulation sur l'Inlandsis, basée sur une propriété du névé susceptible d'une mesure exacte et variant avec l'âge et la profondeur.

C'est ainsi que sur une suggestion de M. F. G. HOUTERMANS (Berne) nous avons été conduits à adopter une méthode de datation des couches de névé par la mesure de la radio-activité correspondant à leur teneur en Tritium \*. Utilisée conjointement avec les procédés classiques cités plus haut, cette méthode devait nous permettre la détermination de l'accumulation actuelle et passée sur une vaste zone de l'Inlandsis (5, 6).

On trouve dans l'eau du continent environ 2,5 à 25 atomes \*\* de Tritium ( $T$  ou  ${}^3_1 H$ ) par  $10^{18}$  atomes d'hydrogène  ${}^1_1 H$ . Constituant de la neige, le Tritium a une concentration maximale à la surface du névé (âge zéro) et diminue avec la profondeur. Sa demi-période de désintégration étant de 12,26 années, la datation peut ainsi remonter à 100 années environ, ce qui, pour l'Inlandsis, correspond à des couches situées à 30 mètres environ au-dessous de la surface.

\* Méthode développée dès 1952 par W. F. LIBBY et ses collaborateurs pour les eaux naturelles.

\*\* Les valeurs extrêmes sont dans le rapport 1 : 100.

Notons ici qu'en établissant le programme de l'E.G.I.G., nous avions fixé à 30 m la limite de profondeur des forages projetés, et que, effectivement, cette profondeur n'a été dépassée que dans une seule station \*.

1.5 Les essais effectués au Jungfraufirn avant le départ de l'expédition avaient essentiellement pour but de mettre au point la technique de concentration électrolytique des échantillons précédant la mesure de leur radio-activité (7). De plus, il importait de déterminer la masse minimale des échantillons à rapporter du Groenland, élément d'une grande importance opérationnelle. La détermination de l'accumulation sur le Jungfraufirn était dès lors accessoire.

## 2. PRÉLÈVEMENT DES ÉCHANTILLONS

(Cf. Carte nationale de la Suisse au 1 : 50 000. Feuille 254)

Les échantillons ont été prélevés les 5 et 8 septembre 1957 dans les parois verticales d'une crevasse située approximativement 400 m au sud-est de la sortie de la Galerie du Sphinx et 50 m plus bas. (Coordonnées : 642200/155000 ; altitude 3400 m.) Cette crevasse était dans le voisinage de la station P<sub>3</sub> où des observations d'accumulation sont effectuées depuis 1918 au moyen de balises. Les conditions de prélèvement dans une crevasse n'étaient certes pas idéales ; mais nous avons éliminé les portions du névé en contact avec l'air jusqu'à 40 cm de la paroi, afin d'obtenir des échantillons inaltérés. Sans doute eût-il été préférable (ch. 4) de prélever le névé à proximité immédiate de P<sub>3</sub> ; mais nous ne disposions pas de la foreuse-carotteuse qu'il nous eût fallu pour cela.

Jusqu'à 25 m de profondeur, les couches de névé étaient parallèles à la surface. Au-dessous, leur inclinaison augmentait brusquement, conséquence probable d'une discordance entre les strates supérieures et inférieures. La zone de transition entre le névé et la glace était située vers 20 m environ ; mais le névé proprement dit était coupé de nombreuses bandes de glace de régénération.

TABLEAU 1

Echantillon n°	Profondeur	Structure	Densité	Masse
1	31,5 m	glace	d = 0,9	20 kg
2	25 m	glace	d = 0,8	15 kg
3	12,5 m	névé compact	d = 0,8	10 kg
4	3,7 m	névé 1956-57	d = 0,57	5 kg

\* 30, 85 mètres à la Station centrale. Les résultats sont actuellement en voie d'élaboration.

### 3. ANREICHERUNG UND MESSUNG DER PROBEN

3.1 Die elektrolytische Anreicherung des Tritiums aus jeweils 4000 bzw. 2000 ml Probenwasser erfolgte nach der beschriebenen Methode (7). In vier Konzentrierungsstufen wird ein Volumen von etwa 1 ml Wasser erreicht, dessen Deuteriumgehalt 5-14 % D beträgt und in dem sich ungefähr die Hälfte des ursprünglichen T-Gehaltes befindet. Die *Tabelle 2* gibt Aufschluss über die Anreicherungsdaten. Nach neueren Untersuchungen experimenteller und theoretischer Art (8) sind die Trennfaktoren  $\beta$ ,  $\alpha$  für die T-H bzw. D-H-Trennung bei der Elektrolyse nicht konstant, sondern es gilt die Relation

$$\frac{\log \beta}{\log \alpha} = 1,38 + \frac{0,022}{\log \alpha}$$

$\alpha$  wird ermittelt aus der gemessenen D-Anreicherung (Kolonne 3) und dem Volumenverhältnis  $V_o/V_e$  (Kolonne 4), wobei für den ursprünglichen D-Gehalt ein für Firn unserer Region zutreffender Mittelwert  $x_D^o = 128 \pm 3$  ppm (9) eingesetzt worden ist. Man sieht aus Kolonne 8, dass die Tritiumanreicherungsfaktoren in der Gegend von  $2 \cdot 10^3$  (bei zwei Proben nur die Hälfte) liegen. Die angegebene Streuung von  $\pm 8\%$  ergibt sich aus einer grösseren, früher (7) gemessenen Probenserie.

TABLEAU 2

1	2	3	4	5	6	7	8
Firnprobe Nr. Echantillon de névé n°	T-Probe Echant. T	$\frac{x_D}{x_D^o}$	$\frac{V_o}{V_e} \cdot 10^{-3}$	$\alpha$	$\beta$	$\beta/\alpha$	$10^{-3} \frac{x_T}{x_T^o}$
1	7	797,0	3,94	5,25	10,3 <sub>7</sub>	1,97	1,75 $\pm$ 0,14
2	13	1051	3,58	6,79	14,8	2,18	2,04 $\pm$ 0,16
	14	1034	4,82	5,60	11,3 <sub>4</sub>	2,02	2,25 $\pm$ 0,18
3	11	1118	4,29	6,34	13,4 <sub>5</sub>	2,12	2,28 $\pm$ 0,18
	51	560,0	6,73	3,58	6,10	1,70	1,57 $\pm$ 0,13
4	53	356,2	3,40	3,63	6,22	1,72	0,913 $\pm$ 0,07

$\frac{x_D}{x_D^o}$  = Molenbruchverhältnis des D, nach und vor der Anreicherung  
 $x_D^o$  = Rapport des teneurs relatives de D, après et avant l'enrichissement.

$\frac{x_T}{x_T^o}$  = Molenbruchverhältnis des T, nach und vor der Anreicherung  
 $x_T^o$  = Rapport des teneurs relatives de T, après et avant l'enrichissement.

$\frac{V_o}{V_e}$  = Volumenverhältnis vor und nach der Anreicherung  
 $V_e$  = Rapport des volumes initiaux et finaux.

$\alpha, \beta$  = Trennfaktor für D/H, bez. T/H bei der Elektrolyse  
Facteurs de séparation D/H, resp. T/H dans l'électrolyse.

3.2 Die Tritiummessungen wurden in einem Zählrohr mit eingebauter Antikoinzidenzanordnung (10) vorgenommen. Die Füllung bestand aus 460 mm Hg inaktivem C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> und ca. 40 mm Hg H<sub>2</sub>, der aus 0,1 ml des angereicherten Probenwassers durch Destillation über einen Zn-Ofen bei 390° C erhalten wurde. Die Zählausbeute betrug bei den T-Proben 7, 11, 13, 14: 28,5 %, bei den T-Proben 51, 53: 38 %.

Tabelle 3 enthält die T-Messdaten und *Figure 1* zeigt die beobachtete, in Tritium-Einheiten ausgedrückte T-Aktivität als Funktion der Tiefe logarithmisch aufgetragen. Daraus lässt sich *eine Mittlere Akkumulationsrate von  $1,34 \pm 0,1$  m/Jahr* ableiten.

TABLEAU 3

Firnprobe Nr. Echantillon de névé n°	Tiefe Profondeur m	T-Probe Echantillon T	Konzentrat Concentrat cpm/g	dpm/g	Probe Echantillon dpm/kg	Probe Echantillon T/H/.10 <sup>18</sup> (am 1.1.1959)
1	31,5	7	23,5	82,5	47,0	$6,70 \pm 0,5$
		13	34,0	119	58,3	$8,30 \pm 0,7$
2	25,0	14	39,5	138, <sub>6</sub>	61,5	$8,76 \pm 0,7$
3	12,5	11	77,5	272	119, <sub>5</sub>	$17,0 \pm 1,4$
		51	65,5	172	110	$16,3 \pm 1,3$
4	3,7	53	55,5	146	160	$23,8 \pm 1,9$

cpm/g = Impulse/Mn. Gramm-Konzentrat  
(Impulsions/mn.g du concentrat)

dpm = Desintegrationen/Mn (Désintégrations/mn)

#### 4. DISCUSSION

4.1 Dans les parages de la crevasse prospectée, le taux annuel moyen d'accumulation déterminé à l'aide du Tritium est de  $1,34 \pm 0,1$  m. La couche la plus profonde (31,5 m) a donc un âge de  $26$  ans  $\pm 2$  ans par rapport à la surface (âge zéro). La prospection datant de 1957, la couche inférieure s'est par conséquent formée en  $1931 \pm 2$  ans. Relevons d'emblée, conséquence du mouvement du glacier, que cette couche s'est constituée en surface en un point situé en amont de la crevasse. Il en est de même des strates intermédiaires dont le point d'origine est d'autant plus rapproché de la station de prélèvement que leur âge est plus faible.

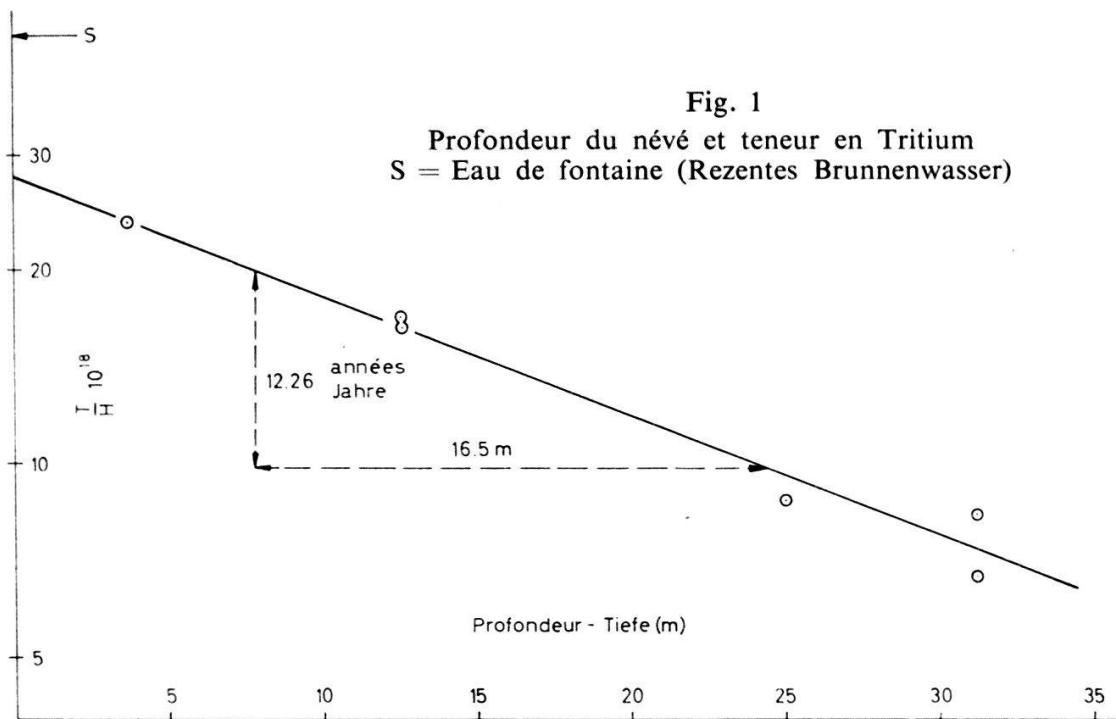


Fig. 1

Profondeur du névé et teneur en Tritium  
S = Eau de fontaine (Rezentes Brunnenwasser)

Dans ces conditions, l'accumulation trouvée ne représente pas la valeur en un point, mais une moyenne le long d'une ligne d'écoulement du névé, aboutissant au point de prospection de la crevasse.

4.2 La hauteur moyenne de l'accumulation mesurée au point  $P_3$  est de 3,55 m par an pour la période de 1940 à 1957 (11). Cette valeur résulte d'observations faites au moyen de balises, automne après automne, toujours au même point. La somme des hauteurs de la dernière couche annuelle pour la période considérée (17 années) s'élève à 60,33 m de névé de densité à 0,56 à 0,58. Cette hauteur cumulée calculée est plus grande que la hauteur totale réelle des 17 couches superposées, en raison du tassemement et de la métamorphose progressive des couches profondes. En admettant que la densité moyenne de cette colonne serait de 0,75, l'accumulation annuelle moyenne au bout de 17 ans serait de  $3,55 \text{ m} \frac{0,57}{0,75} = 2,22 \text{ m}$ .

4.3 Compte tenu des réserves formulées (4.1) et de la réduction opérée (4.2) il est possible de comparer les résultats obtenus par les deux méthodes en deux points du Jungfraufirn distants de 400 m (dénivellation 50 m). On constate alors que les résultats diffèrent notablement, dans le rapport de 1,82. Quelles sont les raisons d'un écart aussi considérable ?

- a) L'éventualité d'une contamination des couches de névé de 1952 et 1954 consécutive aux retombées radio-actives peut être écartée, le graphique *Figure 1* ne permettant pas de retenir cette hypothèse.

- b) En revanche, il nous paraît plausible que l'écart soit dû à la différence entre l'accumulation \* à P<sub>3</sub> et celle des parages de la crevasse. Le relief est en effet fort différent : P<sub>3</sub> est situé dans une cuvette dépourvue de crevasses (zone de compression) tandis que la crevasse est dans une partie convexe du névé (zone de tension), défavorable à l'accumulation.

## 5. CONCLUSIONS

5.1 Du point de vue technologique, l'essai de datation exposé dans cette note a atteint son but. Il a permis de fixer la masse optimale des échantillons à prélever au Groenland (2 kg) et nous a conduits à apporter des améliorations importantes à la technique de concentration des échantillons.

5.2 Du point de vue glaciologique, le résultat trouvé ne peut être considéré comme concluant, car nous n'avions pas la possibilité de le confirmer par une méthode indépendante appliquée au même point.

Ajoutons encore qu'au Groenland, nous avons prélevé le névé par des forages continus et que la valeur en eau de chaque échantillon a été déterminée.

## 6. REMERCIEMENTS

Nous exprimons notre gratitude aux institutions et personnes suivantes dont l'aide nous a été précieuse :

- Le Groupe suisse de l'E.G.I.G. (resp. Fonds national de la recherche)
- La Fondation Fritz Hoffmann-La Roche pour les communautés de recherche scientifique en Suisse
- La Station scientifique du Jungfraujoch
- L'Institut d'Hydrologie et de glaciologie VAWE/ETH à Zurich
- MM. Fritz Müller, glaciologue, et R. Krebs, guide, pour leur assistance lors du prélèvement des échantillons
- MM. H. Böni, W. Kammerer et P. Peiker, assistants à l'Institut de Chimie minérale de l'Université de Zurich
- Mesdames Schlappbach et Geiss, collaboratrices à l'Institut de Physique de l'Université de Berne.

*Adresse des auteurs :*

P. D. Dr. HANS OESCHGER, Institut de physique de l'Université de Berne.

Prof. ANDRÉ RENAUD, Commission des glaciers S.H.S.N., Lausanne.

Dr. Prof. ERNST SCHUMACHER, Directeur de l'Institut de Chimie minérale de l'Université de Zurich.

\* Nous distinguons ici la mesure de l'*accumulation annuelle* de celle des *précipitations atmosphériques*.

### PUBLICATIONS CITÉES ET RÉFÉRENCES

1. L. AGASSIZ. — Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels. 1 vol. Paris, 1847.
2. Les variations périodiques des glaciers des Alpes 1902 ; in *Annuaire du CAS. XXXVIII<sup>e</sup> année*, Berne, 1903.
3. R. HAEFELI et P. KASSER. — Beobachtungen im Firn- und Ablationsgebiet des Grossen Aletschgletschers. *Mitteil. Nr. 15 aus Institut VAW/EETH*, Zürich, 1948.
4. G. SELIGMAN. — The Structure of a temperate Glacier, in *Geographical Journal*, No. 5, 1941. London.
5. A. RENAUD. — La participation de la Suisse à l'Expédition glaciologique internationale au Groenland (E.G.I.G.) de 1957 à 1961, in *Revue internationale de l'horlogerie*, n° 8, 1958.
6. R. HAEFELI. — Die internationale glaziologische Grönlandexpedition 1957-1960, in *Schw. Bauzeit*. Heft 29, 1959.
7. E. SCHUMACHER. — Zur Geochemie VII. Aufarbeitungsanlage für Tritium in natürlichem Wasser, in *Helv. Chim. Acta* 43, p. 1019, 1960.
8. Nous remercions M. Dr. J. Bigeleisen (Brookhaven) pour cette communication qu'il a présentée par ailleurs lors d'un colloque IAEA sur le Tritium (mai 1961).  
Nous remercions aussi M. le Dr Göte Ostlund (Stockholm) avec lequel nous avons eu un échange de correspondance sur cette question.  
H. G. OSTLUND et P. E. WERNER : The Electrolytic Enrichment of Tritium and Deuterium for Natural Tritium Measurements. TIS 14.
9. G. NIEF et R. BOTTER. — Advances in Spectrometry (J. D. Waldron, éd.) London, 1959, p. 515.  
K. RANKAMA. — Isotope Geology, p. 151.
10. F. G. HOUTERMANS et H. OESCHGER, *Helv. Phys. Acta* 31, p. 117, 1958.
11. Nous remercions M. P. Kasser (Zurich) pour cette communication.

*Manuscrit reçu le 30 novembre 1961.*