HAL
open science

Bilan de masse de la Mer de GlaceVariations de densité du névé

Roland Vivet

To cite this version:

Roland Vivet. Bilan de masse de la Mer de GlaceVariations de densité du névé. Géophysique [physics.geo-ph]. 1962. dumas-00981576

HAL Id: dumas-00981576

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-00981576

Submitted on 22 Apr 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

DES

UNIVERSITE DE GRENOBLE - FACULTE DES SCIENCES

Roland VIVET

1°/ BILAN DE MASSE DE LA MER DE GLACE

2°/ VARIATIONS DE DENSITE DU NEVE

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME D'ETUDES SUPERIEURES

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
15, RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TÉL. (33) 76 63 59 66
FAX. (33) 76 87 82 43

JURY: MM. les Professeurs R. BARBIER President
L. LLIBOUTRY
R. PAUTHENET Examinateurs

Date de soutenance: 3 Juillet 1962

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1
INSTITUT DE GÉOLOGIE
DOCUMENTATION
15, RUE MAURICE GIGNOUX
F 38031 GRENOBLE CEDEX
TÉL. (33) 76 63 59 66
FAX. (33) 76 87 82 43

BILAN DE MASSE

DE LA

MER DE GLACE

VALLEE BLANCHE SUPERIEURE

- Quadrilatère de base
- Implantation des balises
- Triangulation des balises
- Epaisseur de glace
- Débit de glace - Accumulation
- Epaisseur de glace d'après la loi de déformation de la glace

La partie supérieure de la Vallée Blanche forme immédiatement sous le Col du Midi un plateau glaciaire peu incliné limité au Nord et au Sud par les contreforts de l'Aiguille du Midi et par la ligne de crêtes descendant du Mont-Blanc du Tacul sur le Col du Gros-Rognon. Cette disposition et son altitude moyenne de 3 500 mètres en font une zone d'accumulation glaciaire bien caractérisée.

L'étude de cette zone a été entreprise par le Laboratoire de l'Aiguille du Midi dès 1958, sous la direction du Professeur L. Lliboutry. Cette étude inclut notamment les calculs de vitesses et de bilan de masse du glacier qui sont goupés dans cet ouvrage et qui ont été effectués à partir du mois d'avril 1960. Ces calculs demandent préalablement un travail de :

- topographie
- implantation de balises
- triangulation de ces balises pendant une période donnée.

Une campagne de prospection par sismique-réfraction effectuée en juillet 1960 avec la collaboration de la Compagnie Générale de Géophysique permet de tirer les conclusions que l'on verra.

1. QUADRILATERE DE BASE A B C D

Quatre piliers ont été érigés sur la roche en place, situés de façon à viser lemaximum de balises sous les angles les plus favorables :

- A (Alpha) sur l'arête au S.W du laboratoire
- B (Bravo)
- C (Charlie): sur l'arête N.E de la pointe Lachenal
- D (Delta) : sur l'arête N.W du Gros-Rognon

Les piliers scellés au ciment portent à leur partie supérieure une plaquette de centrage en aluminium ; le centragé étant effectué par trois rainures radiales à 120º. Un trou au centre de la plaquette permet l'adaptation de quilles en bois sur le sommet desquelles l'opérateur fait ses visées.

La base AB mesurée à la stadia et au théodolite KERN DKM2 (moyenne de 16 lectures cercle à droite et à gauche, de 50^c en 50^c a donné:

$$AB = \text{cotg} \left(\frac{1{,}6190_2 \pm 0{,}0001}{2} \right) \text{ mètres}$$

soit aprés réduction au niveau de la mer :

$$(B_o = B + c$$

$$c = \frac{B . Hm}{R}$$

avec :

c : correction

B : distance non corrigée

Hm : altitude moyenne

R : 6 400 km

log A B = 1,895940

A B = 78,693 mètres.

Le quadrilatère a été déterminé par visées réciproque, à l'aide d'un KERN DKM2 et d'un WILD T2, en collaboration avec l'Ingénieur Baussart de l'Institut Géophyqique National, lequel à également effectué les calculs de compensation.

Les "gisements relatifs" g, par rapport à des axes locaux x o y (oy porté par AB, et A ayant l'ordonné 500,00 sont en grades :

g de	mesuré	apres compensation
A B	119,2477	119,2488
A D	96,5743	96,5759
BC	115,2658	115,2668
B D	90,1083	93,1080
C D	34,7096	34,7090
D C	234,7062	

Les coordonnées locales x, y, des quatre sommets du quadrilatère sont (après réduction au niveau de la mer):

	log x	x	log (y-500)	y
A		0,000		500,000
B		0,000	1,895940	421,307
C	3,067121	1167,13	2,561169	135,945
D	3,156791	1434,79	1,887877	577,246

Mise en place du quadrilatère:

Effectuée seulement pour les besoins graphiques,cette mise en place est peu précise et doit être reprise em visant le maximum de points géodésiques.

Les résultats provisoires sont groupés dans le polycopié: "L.Lliboutry : Travaux topographiques éffectués en 1960 sur la Vallée Blanche et le Glacier du Tacul".

Nivellement du quadrilatère:

Alors que les cotes relatives sont déterminées à 4 cmprès, les cotes absolues sont déterminées à 1/2 mètre près.Les valeurs provisoires adoptées sont:

A	B	C	D	Aiguille du Midi.
3 603,00	3 604,83	3 484,59	3 449,13	3 485,30

2. IMPLANTATION DES BALISES 1 à 19

Le 12 avril 1960 une rangée incurvée de balises a été implantée suivant à peu prés une courbe de niveau* limitant le plateau supérieure de la Vallée Blanche du coté aval. Le numérotage est fait comme suit :

- balises 1 à 16, 17 bis et 19 alignées
- balises 4 bis et 13 bis disposées en amont de cette ligne :
- balises 17 et 18 disposées en aval.

Trois jours furent laissés pour que la neige se tasse et se consolide autour des balises. Les premières mesures furent effectuées le 15 avril 1960.

La disposition de cette rangée de balises, barrant à sa sortie la zone d'accumulation est destinée :

- à donner les vitesses superficielles horizontales et verticales du glacier :

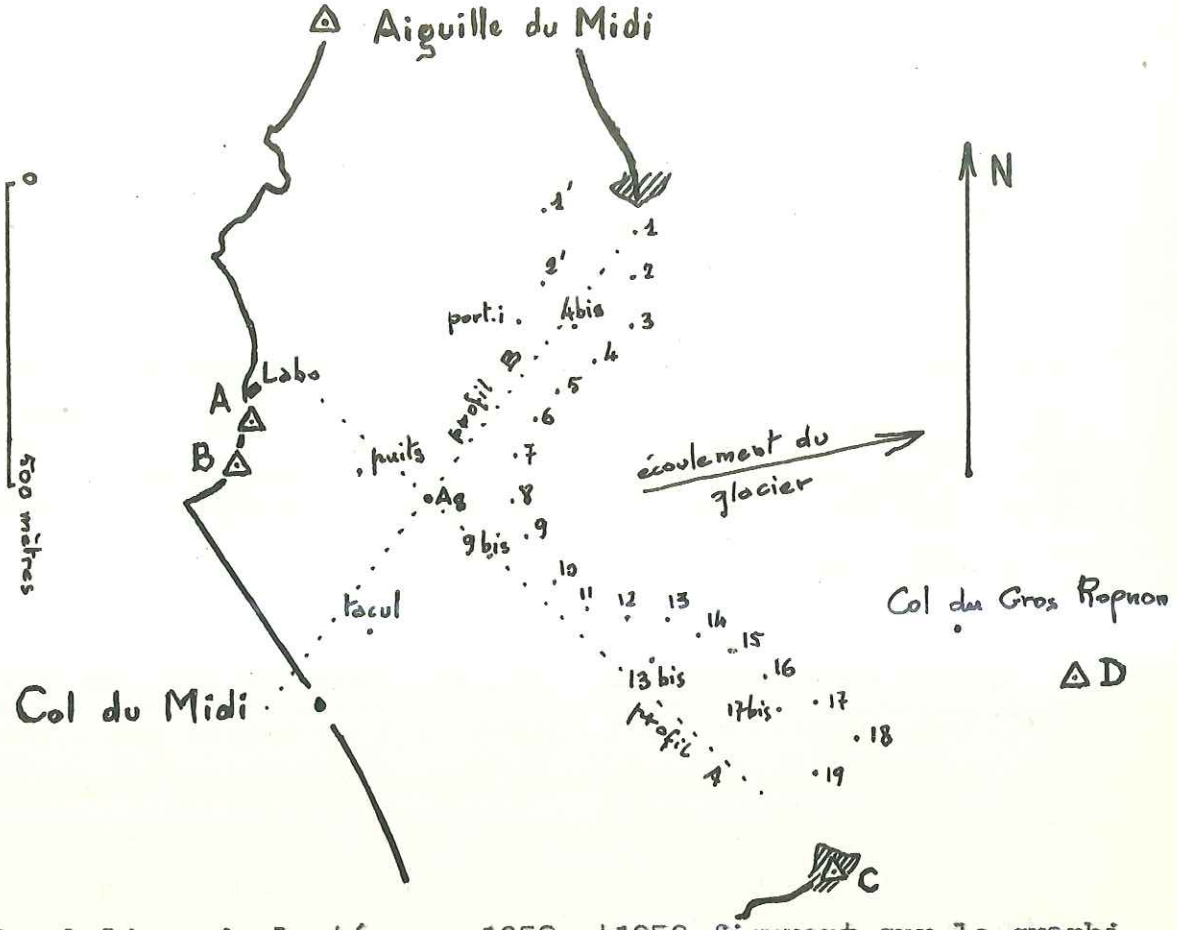
- à calculer le débit du glacier une fois les résultats de la campagne sismique concernant les épaisseurs de glace connus. (Le sondage sismique donnera l'épaiseur de glace suivant deux profils en croix A et B cherchant à tangenter le plus possible cette ligne de balises).

(croquis)

---

* une zone de crevasses empechait que les balises soient plantées suivant un profil rectiligne du glacier.

Les balisës amont 4 bis,13 bis et aval 17,18 doivent permettre des mesures d'extension superficielle et de pente locale.L'ensemble de ces balises servira aussi aux mesures d'accumulation,de tassement et d'érosion du névé pendant le printemps et l'été 1960.



Des balises implantées en 1958 et1959 figurent sur le graphique au 1/1.000è,ainsi que deux rangées de balises en croix implantées en avril 1961.Elles sont désignées ainsi:

1958: balises "puits" ,"tacul" et "portique inférieur"

1959: balises 1' à 6'

1961: balises $A_{1''}$ à $A_{25''}$

$B_{1''}$ (= $A_{5''}$) à $B_{13''}$

Nous en retrouverons les différentes utilisations plus loin.

3. TRIANGULATION DES BALISES

En 1960 les positions succesives des balises 1 à 19 ont été triangulées les :

- 15 avril
- 7 mai
- 21 juillet

Les premières triangulations ont été effectuées au DKM2 ET T2 puis ces modèles (donnant le 1/10000e de grade) furent abandonnés au profit de KERN DKM1 (donnant le 1/1000e de grade). Les visées au 1/10 000e de grade donnèrent en effet des "chapeaux" bien supérieurs à ceux obtenus généralement avec ces modèles (figure 2). Cette imprécision correspond à des déviations des rayons lumineux dans le plan horizontal pouvant atteindre deux milligrades par km (réverbération très importante, couches d'air de températures différentes non distribuées horizontalement et pouvant épouser les formes du terrain...).

L'emploi du DKM1 s'est donc avéré suffisant d'autant plus que des raisons de poids, d'encombrement et de prix le font préférer lorsque les moyens de locomotion sont la plupart du temps les skis, les peaux de phoques et les crampons !

Les visées sur les balises devraient se faire : pour la lecture azimuthale, sur le pied de la balise; pour la lecture zénithale sur le sommet afin que les phénomènes tout à fait superficiels (action du vent, chutes de neige, tassement...) ne faussent pas cette dernière lecture. Mais j'ai parfois été obligé d'effectuer les visées horizontales et verticales sur le pied des balises qui tendaient à s'incliner sous l'action du vent et de phénomènes de réptation, de glissements à l'intérieur des dernières couches de neige.

Toutes ces triangulations par intersection des balises comprenaient les deux tours d'horizon, cercle à droite et cercle à gauche, avec décalage du limbe horizontal de 100 grades.

Pour chacune de ces opérations, chaque balise était visée plusieurs fois (quatre à cinq fois) les lectures horizontales et verticales étant faites simultanément. Pour chaque tour d'horizon, l'erreur de fermeture était mesurée La moyenne des quatre ou cinq lectures citées ci-dessus donnait une valeur qui par réduction de l'erreur de fermeture à zéro, pouvait varier de quelques milligrades. Enfin pour chaque balise une moyenne des deux chiffres ainsi obtenus par les deux tours d'horizon donnait la valeur définituve.

Nous trouverons ci aprés trois chapitres concernant respectivement :

1°/ Les vitesses horizontales des balises
2°/ Les vitesses verticales
3°/ Les altitudes du glacier dans la région des balises.

x

1) Vitesses horizontales des balises.

Un relevé au 1/1000 du plateau supérieur de la Vallée Blanche figure le quadrilatère ABCD posé par les valeurs des coordonnées locales des points (page 5)

La première série de mesures est du 15 avril 1960 faite simultanément par deux opérateurs Les heures de visée pour chaque station sont les suivantes :

- A : 1330
- B : 1400
- C : 1200
- D : 14.00

Les positions initiales des balises ont été déterminées à l'aide de la table à six decimales des valeurs naturelles des fonctions trigonométriques d'Enberg et Langström. Les imprécisions de graphique étant nettement supérieures à celles des mesures, aucune correction n'a été à faire.

Sur le graphique les droites représentant les visées depuis les stations AB CD sur une balise se coupaient toujours en un même point. Chaque position est figurée sur le graphique au 1/1000 par un point cerclé.

La deuxième série de mesures est du 7 mai 1960 aux heures suivantes :

A : 10.15
B : 8.30
C : 13.30
D : 14.30

Les intervalles de temps écoulés depuis les triangulations du 15 avril sont :

depuis A : 21,865 jours
B : 21,771 -
C: D 22,040 -
D : 22,021 -

Le déplacement des balises pendant ces périodes Δt à amené une variation des angles de visée qui, en moyenne était de $0{,}150^c$ (2 milligrades dans les cas les plus défavorables : balise 2 visée depuis D; balise 8 visée depuis A ; 343 milligrades dans le cas le plus favorable : balises 19 visée depuis C). Cette valeur ramenée à une valeur $\Delta\theta^c$ par an (360 jours), puis ramenée en valeur annelle en radians.

Enfin, le "déplacement apparent" depuis chaque pilier était calculé en mesurant sur le graphique la distance m séparant la balise du pilier et en effectuant le produit :

$$m_{\text{mètres}} \cdot \frac{\Delta\theta}{\Delta} \text{ radians}$$

Ce déplacement apparent étant ainsi obtenu en mètres par an (voir figure 2).

Tous ces calculs ont été effectués sur machine à calculer

Légende du tableau :

- L'origine des angles indiqués colonne 4 est :
  - pour les stations A et B : visée I00,0000 grades cercle à gauche sur D
  - pour les stations C et D : visée 0,0000 grade cercle à gauche sur A
- Les valeurs Δt de la colonne 3 sont :

  I = 2I,865 jours
  2 = 2I,77I "
  3 = 22,040 "
  4 = 22,02I "
  5 = 75 "
  6 = 74 "

2	3	4	5	6	7	8	9
Station	Δ t (jours)	θ I θ 2 θ 3	$\Delta\theta$ (grades en Δt jours)	$\Delta\theta$ (grades par an)	$\Delta\theta$ (radians par an)	Distance m (mètres)	m. $\Delta\theta$ (mètres par an)
A	I 5	52,0839 52,0925 52,2294	0,0086 0,I369	0,I3224 0,657	0,0026076 0,0I03I5	703	I,459 7,25I
C	3 6	38,5633 38,5823 38,637	0,0I90 0,0547	0,30984 0,266	0,0048644 0,004I762	II06	5,3800 4,62
D	4 6	30,5609 30,5639 32,490	0,0030	0,05520	0,0008666	I042	0,9030
A	I 5	58,73I8 58,8005 59,II24	0,0687 0,3II9	I,I304 I,532	0,0I77473 0,0240524	674	II,96I I6,2II
C	3 6	37,2468 37,2783 37,374	0,03I5 0,0957	0,5I36 0,466	0,0080635 0,0073I62	I032	8,32 7,550
D	4 6	27,I204 27,II82 27,I09	-0,0022 -0,0092	-0,0356 -0,0448	-0,000559 -0,0007034	988	-0,5523 -0,695

I	2	3	4	5	6	7	8	9
	A	I 5	65,6043 65,7483 66,27I4	0,I440 0,5230	2,37I2 2,5I00	0,037227 0,039407	650	24,I97 25,6I4
3	C	3 6	35,5322 35,5858 35,772	0,0536 0,I862	0,8772 0,907	0,0I37720 0,0I424	962	I3,249 I3,70
	D	4 6	23,23I5 23,2I4I 23,I82	-0,0I74 -0,032I	-0,2844 -0,I562	-0,004465 -0,002452	942	-4,206 -2,3I
	A	I 5	70,I408 70,2895 70,7676	0,I487 0,478I	2,4480 2,296	0,038434 0,036047	574	22,06I 20,69
4	C	3 6	29,933I 29,9895 30,I980	0,0564 0,2085	0,9204 I,0I5	0,0I4450 0,0I5935	934	I3,496 I4,883
	D	4 6	I7,4849 I7,4723 I7,4550	-0,0I26 -0,0I73	-0,2I00 -0,0842	-0,003297 -0,00I32I9	960	-3,I65 -I,269
	A	I 5	64,4I67 64,5673 65,I006	0,I506 0,5323	2,4384 2,6I5	0,038283 0,04I055	560	2I,438 22,99I
Ls	29,7095 C	3 6	29,7095 29,74I2 29,8440	0,03I7 0,I028	0,5I72 0,5	0,008I20 0,00785	988	8,022 7,755
	D	4 6	I9,0635 I9,0380 I8,9730	-0,0255 -0,0650	-0,4I64 -0,3I64	-0,006537 -0,004967	I008	-6,589 -5,00

I	2	3	4	5	6	7	8	9
5	(disparue)							
	A	I	8I,0630 8I,I870	0,I240	2,04I2	0,032047	476	I5,254
6	C	3	20,9802 2I,0445	0,0643	I,0488	0,0I6466	893	I4,707
	D	4	8,97II 8,9689	-0,0022	-0,03II5	-0,000489	992	-0,485
	A	I	89,63I9 89,7063	0,0734	I,2084	0,0I8972	448	8,499
7	C C	3	I6,539I I6,597I	0,0580	0,9456	0,0I4846	863	I2,8I2
	D	4	4,6292 4,626I	-0,0032	-0,04944	-0,0007762	998	-0,774
	A A	I 5	I00,3558 I00,3579 I00,I8I7	0,002I -0,I702	0,03456 -0,8I69	0,0005426 -0,0I2825	454	0,246 -5,823
8	B	2 5	92,9448 92,9369 92,6370	-0,0079 -0,3000	-0,I308 -I,4595	-0,0020535 -0,029I4II	464	-0,953 -I3,52
	C	3	I2,2I39 I2,2805	0,0666	II,0872	0,0I7069	8I2	I3,860
	D	4	399,8400 399,8482	0,0082	0,I339	0,002I02	984	2,0686

2	3	4	5	6	7	8	9
A	I	I06,787I I06,7393	-0,0478	-0,7872	-0,0I2359	497	-6,I424
B	2	I00,I7I7 I00,I08I	-0,0636	-I,0524	-0,0I6523	499	-8,245
D	4	396,4453 396,4723	0,0270	0,44I24	0,006528	946	6,553
A	I	III,043I III,00I3	-0,04I8	-0,6888	-0,0I08I4	456	-4,93I
B	2	I03,470I I03,3950	-0,075I	-I,2432	-0,0I95I8	453 453	-8,842
D	4	394,9506 394,9724	0,02I8	0,3I92	0,0050II	992	4,97I
A	I	III,9992 III,906I I06,63I9	-0,093I	-I,5336	-0,240775	574	-I3,82
B	2	I06,63I9 I06,5209	-0,0II0	-I,8372	-0,028844	570	-I6,44I
D	4	392,3I29 392,3629	0,0500	0,8I72	0,0I283	880	II,29
A	I	II3,5294 II3,42I9 I09,0904	-0,I075	-I,7688	-0,02777	640	-I7,772
B	2	I09,0904 I08,9632	-0,I272	-2,I048	-0,033045	632	-20,884
D	4	389,6564 389,7257	0,0693	I,I3I6	0,0I7766	823	I4,62I

	2	3	4	5	6	7	8	9
	A	I	III,8205 III,6978	-0,I227	-2,0I84	-0,03I689	702	-22,246
I2	B	2	I08,0788 I07,9388	-0,I400	-2,3I60	-0,03636I	696	-25,307
	D	4	389,24I5 389,3340	0,0925	I,5I08	0,0237I9	760	I8,026
	A	I 5	I09,0743 I08,9583 I06,5486	-0,II60 -2,4097	-I,9I04 -II,57	-0,02999 -0,I8I65	772 770	-23,I55 -I40,2
I3	B	2 5	I06,0408 I05,9I24 I05,2090	-0,I284 -0,7034	-2,I276 -3,464	-0,033403 -0,054385	680 770	-25,72 -4I,87
	D	4 6	389,7222 389,8335 390,2360	0,III3 0,4025	I,8I80 I,96	0,02854 0,03077	682 682	I9,466 20,98
	A	I	II4,I7I0 II4,0625	-0,I085	-I,7844	-0,028015	766	-2I,46
bis	B	2	III,0925 II0,9682	-0,I243	-2,0604	-0,032346	757	-24,487
	D	4	384,7436 384,8358	0,0922	I,5048	0,023625	7I2	I6,82
	A	I	I09,0229 I08,9853	-0,0376	-0,6I92	-0,00972I	826	-8,03
4	B	2	I06,47I7 I06,3528	-0,II89	-I,9668	-0,0030879	822	-25,382
	C	3	25,I9I2 25,4842	0,2930	4,7760	0,07498	450	33,742
	D	4	388,I258 388,2427	0,II69	I,9092	0,02997	632	I8,943

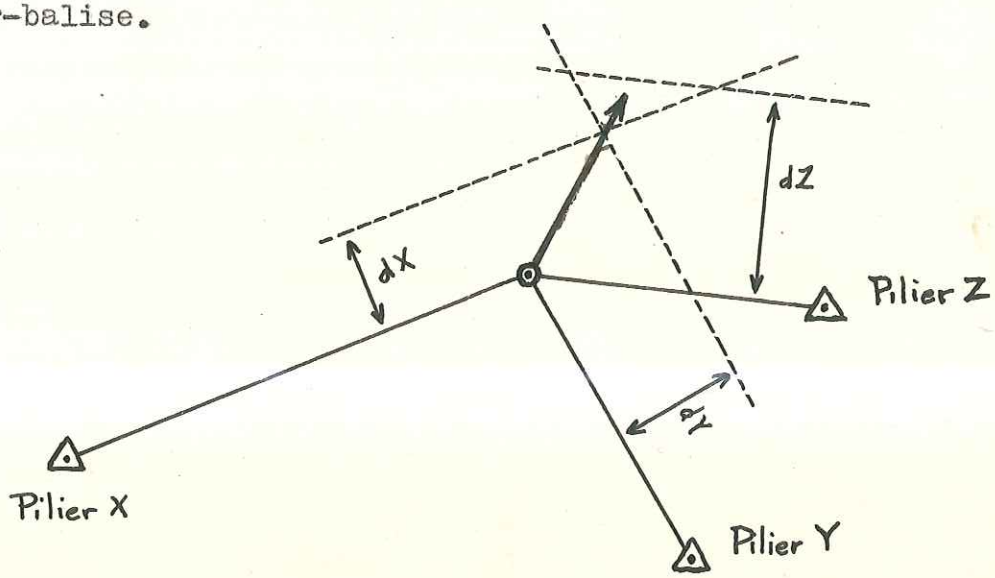
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	A	I 5	109,6229 I09,5327 III,I658	- 0,0902 (erroné)	- I,4856	- 0,02332	889	- 20,73
I5	C	3 6	30,0034 30,3043 3I,3I70	0,3009 I,0I27	4,896 4,93	0,07687 0,07740	396	30,44 30,65
	D	4 6	385,0957 385,203I 385,5890	0,I074 0,3860	I,7544 I,88	0,02754 0,0295I	575	I5,84 I6,97
I6	A	I	II0,6599 II0,589I	-0,0708	- 0,0664	0,0I83I	959	- I7,56I
	C	3	36,0278 36,32I8	0,2940	4,800	0,07536	333	25,095
	D	4	380,0876 380,I772	0,0896	I,464	0,023	5I8	II,9I4
I7	C	3 6	46,6963 46,9740 47,9I00	0,2777 0,9360	4,5324 4,555	0,07II6 0,07I5I	279	I9,853 I9,95
	D	4 6	377,706I 377,7835 378,0470	0,0774 0,2635	I,2648 I,282	0,0I986 0,020I27	458	9,095 9,22

888

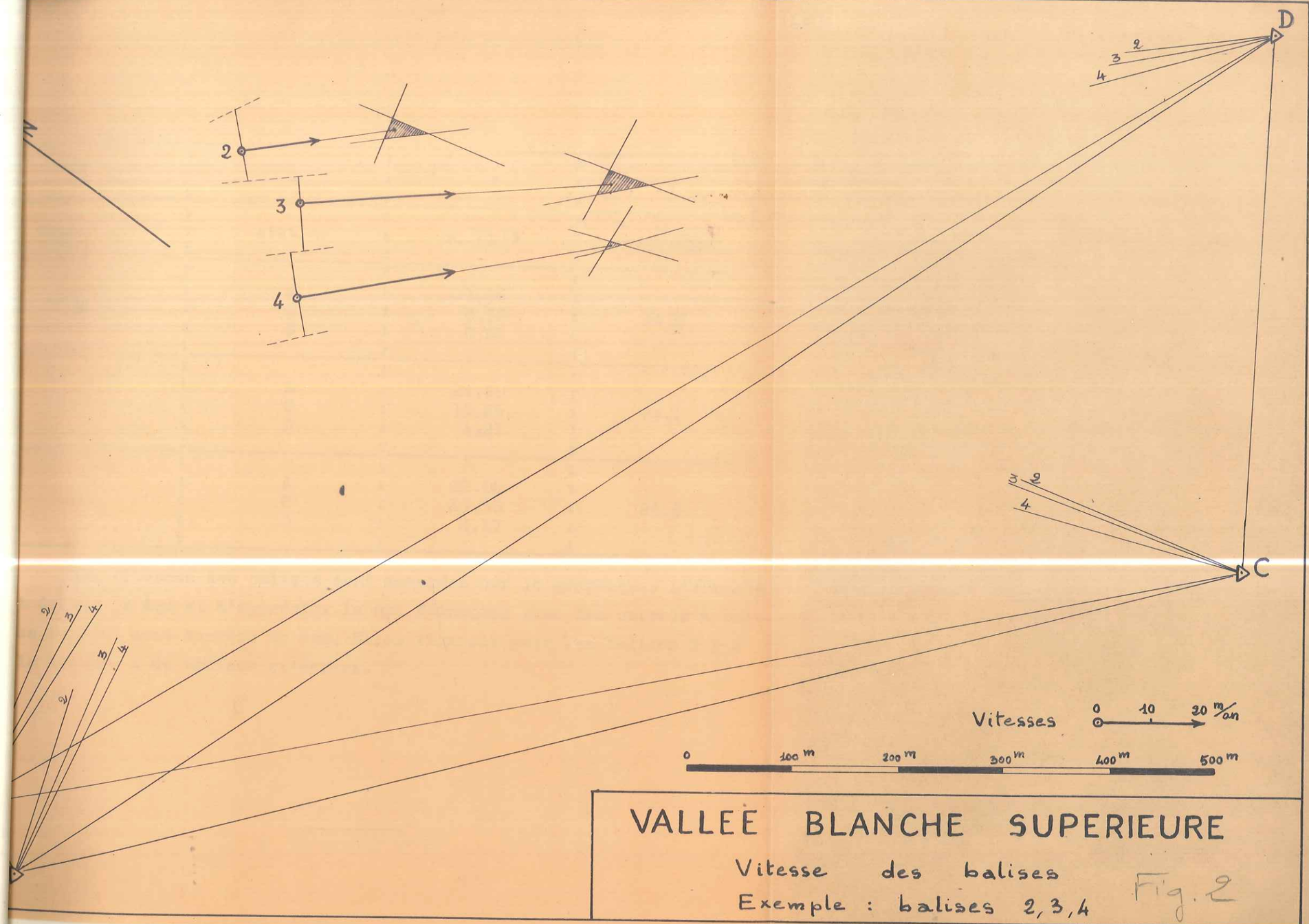
I	2	3	4	5	6	7	8	9
I7 bis	A	I 5	II2,743I II2,6837 II2,4I52	- 0,0594 - 0,2685	-0,9780 -I,290	-0,0I5355 -0,020253	I0I7	- I5,6I6 - 20,59
	C	3 6	36,6924 36,9909 37,9990	0,2985 I,0080	4,884 4,9I	0,07668 0,07709	257	I9,707 I9,8I
	D	4 6	374,II53 374,I830 374,4260	0,0677 0,2430	I,I052 I,I8I	0,0I735 0,0I8542	496	8,605 9,I9
I8	C	3 6	60,4972 60,7483 6I,5800	0,25II 0,83I7	4,I0I6 4,045	0,06440 0,06350	249	I6,036 I5,8I
	D	4 6	372,8080 372,8280 372,9300	0,0200 0,I020	0,3266 0,4965	0,005I27 0,007795	402	2,06I 3,I3
I9	C	3 6	45,4007 45,7436 46,997	0,3429 I,2534	5,076 6,I00	0,0797 0,09577	I33	I0,600 I2,74
	D	4 6	357,7358 357,7I52 357,6580	-0,0206 -0,0572	-0,3363 -0,278	-0,00528 -0,004364	47I	- 2,487 - 2,06

Pour la résolution graphique de la vitesse annuelle de la balise, le procédé était le suivant :

- échelle multipliée par 10 par rapport au graphique (soit à l'échelle 1/100) chaque déplacement apparent étant figuré sur le graphique, à partir de la position initiale de la balise, par une droite parallèle à la direction pilier-balise.



L'intersection de ces droites donne la position finale de la balise. Dans notre cas, les "chapeaux" obtenus par ces intersections étaient assez importants, cette méthode et le changement d'échelle que l'on a opéré visant à multiplier assez considérablement les imprécisions (voir figure annexe 2 pour balises 2 3 4) pour lesquelles m ont les valeurs indiquées dans la collonne 3 du tableau suivant):



VALLEE BLANCHE SUPERIEURE

Vitesse des balises

Exemple : balises 2, 3, 4

Fig. 2

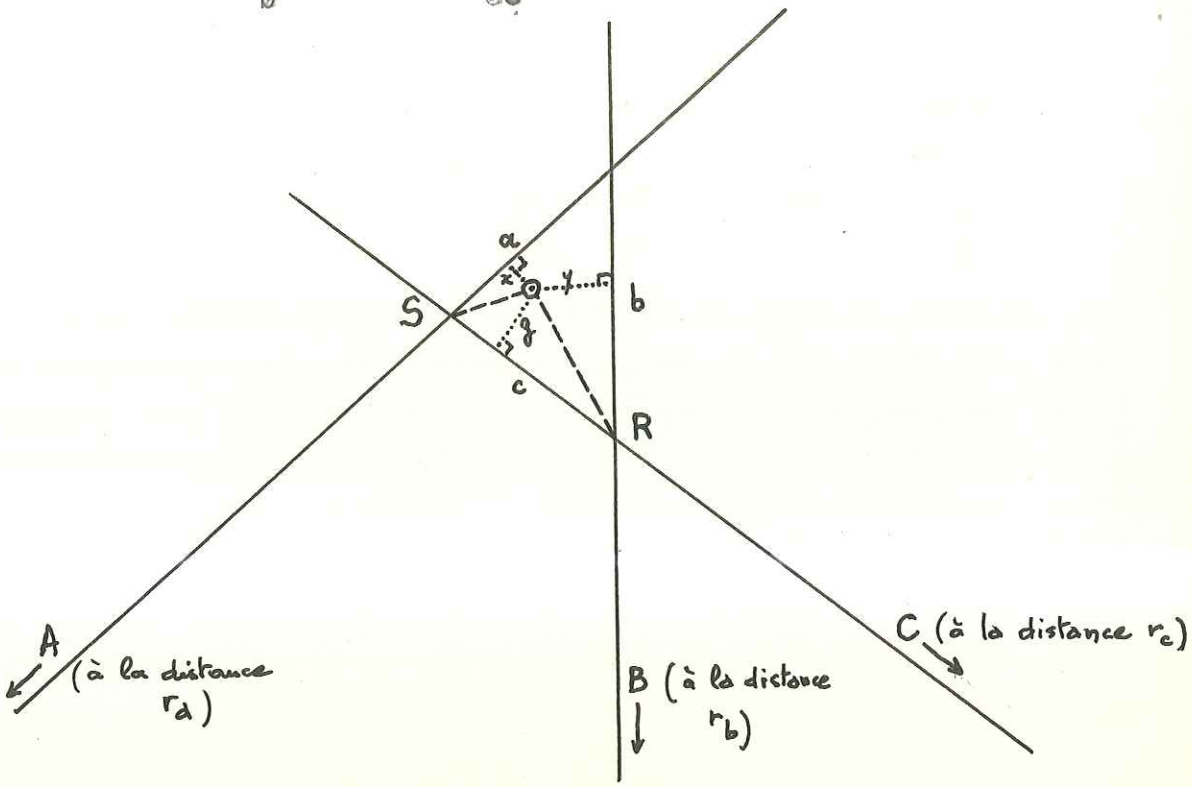
1	2	3	4
balises	station	m. $\Delta\theta$	vitesses
2	A C D	11,96 8,32 0,55	14,5
3	A C D	24,20 13,25 4,21	29,1
4	A C D	22,06 13,50 3,17	29,9

Les vitesses des balises sont mesurées sur le graphique. L'échelle et delire le dcm et d'apprécier le cm. Néanmoins pour les calculs à sui- ces valeurs sont données au dcm. Elles figurent pour les balises 2 3 4 la colonne 4 du tableau ci-dessus.

Position de la balise à l'intérieur du "chapeau".

On a (L. Lliboutry : "Détermination d'un point par intersection")

$$\frac{x}{a.\ r_a^2} = \frac{y}{b.\ r_b^2} = \frac{z}{c.\ r_c^2}$$



On trace les deux droites (en tirets)

$$\frac{y}{b.\ r_b^2} = \frac{z}{c.\ r_c^2} \quad \text{issue de R}$$

$$\frac{z}{c.\ r_c^2} = \frac{x}{a.\ r_a^2} \quad \text{issue de S}$$

La balise est à l'intersection de ces deux droites.

La troisième série de mesures datant du 21 juillet 1960 avait pour but de permettre une vérification des résultats obtenus Les valeurs trouvées à la suite de ce dernier travail, toujours par les mêmes méthodes de calculs, ont montré outre une excellente concordance des résultats, un accroissement de vitesse du glacier de l'ordre de quelques décimètres par an pendant les mois d'été. Ce phénomène est interprété par le Pr. L. Lliboutry comme un glissement apparu en aval.

Des valeurs de vitesses mesurées en 1958 et 1959 sur les balises implantées ces années sont ajoutées à celles de 1960 sur le graphique. Ces valeurs sont inscrites dans le tableau qui va suivre.

De même, quelques vitesses horizontales mesurées sur les balises de 1961 ont été calculées. Elles figurent sur le graphique et sont mentionnées dans le tableau. Ce sont les vitesses des balises :

du profil : A_{1961} : A_5 " A_6 " A_7 " A_8 "

B_{1961} : B_2 " B_3 "

TABLEAU RECAPITULATIF DES VITESSES HORIZONTALES

Balises 1960 (vitesses en m/an du 15.4 au 7.5)

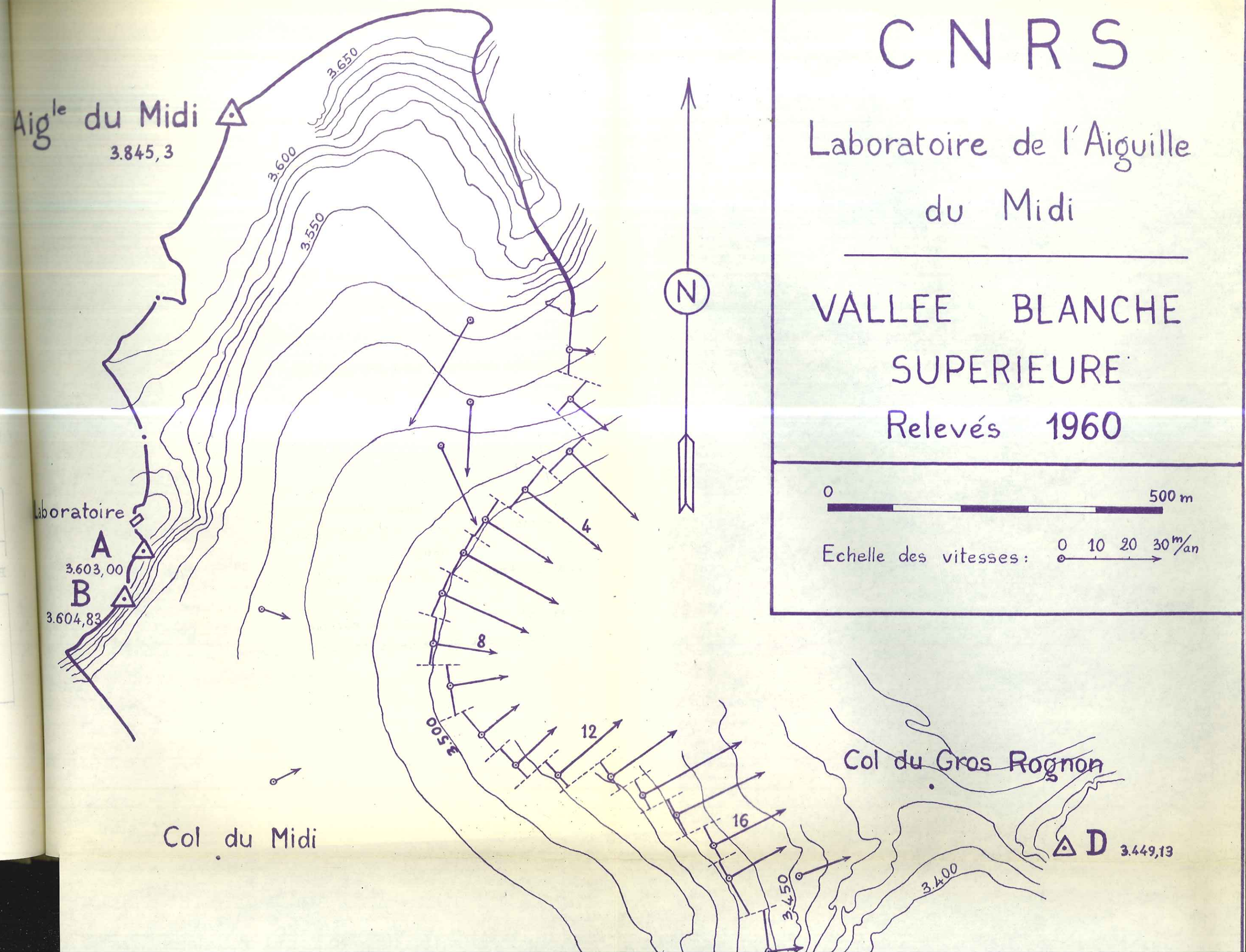
balise nº	vitesses	balise nº	vitesses
1	7	11	12
2	14,5	12	25
3	29,1	13	25
4	29,9	14	33,8
4bis	24,8	15	29,8
5	24	16	24,8
6	32,3	17	20,6
7	28,8	17bis	19,7
8	19,6	18	17
9	18	19	10,7
10	16		

Balises 1958 (m/an du 9.8 au 15.9)

bal."puits" - "tacul"	8,5 8,4	bal. "portique inf."	26,4

Balises 1959 (m/an du 5.7 Au 17.8 et au 4.9)

1'	36	bal. "strati"	6,8
2'	23,2	5'	26
3'	29,4	6'	18
4'	38		


CNRS
Laboratoire de l'Aiguille du Midi
VALLEE BLANCHE SUPERIEURE
Relevés 1960
0
500 m
Echelle des vitesses : 0 10 20 30 m/an
N
Aig^le du Midi
3.845,3
3.650
3.600
3.550
Laboratoire
A
3.603,00
B
3.604,83
4
8
12
16
3.500
3.450
3.400
Col du Gros Rognon
D 3.449,13
Col du Midi

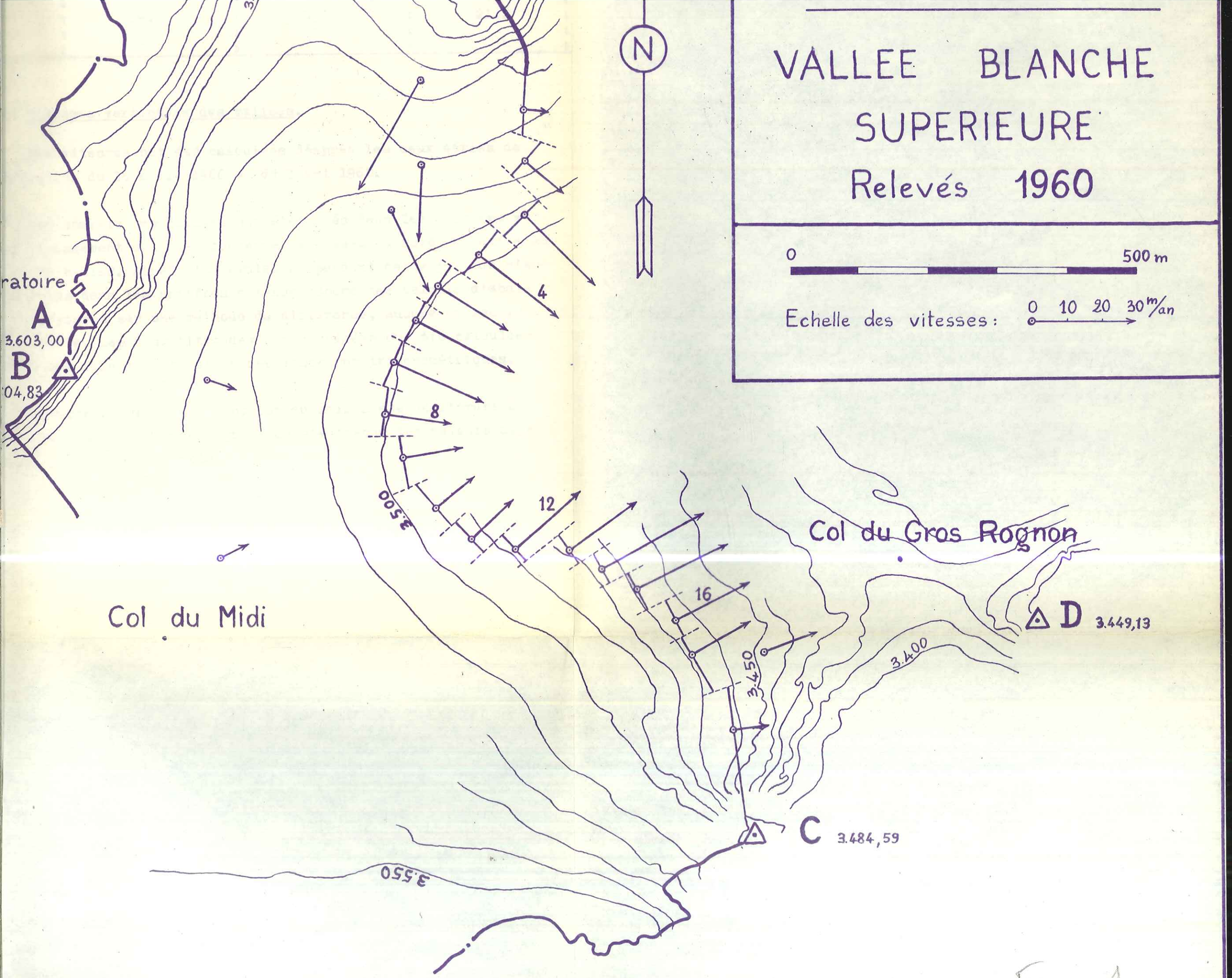

VALLEE BLANCHE
SUPERIEURE
Relevés 1960
0
500 m
Echelle des vitesses :
0 10 20 30 m/an
N
ratoire
A
3.603,00
B
04,83
4
8
12
16
3.500
3.450
3.400
3.550
Col du Midi
Col du Gros Rognon
D 3.449,13
C 3.484,59

Fig. 1

, Balises 1961

A_5"	19,6	A_8"	19,3
A_6"	19,4	B_2"	20
A_7"	19,2	B_3"	21,2

2) Vitesses verticales des balises.

Ces vitesses ont été calculées d'après les deux séries de triangulation du 15 avril 1960 et du 7 mai 1960.

Les sommets des balises ont été visés dans les deux cas et chaque abaissement calculé, concerne le niveau du névé solidaire du pied de la balise. Ainsi l'accumulation pendant cette période n'intervient pas dans les chiffres obtenus. Comme ces calculs d'abaissement reposent sur une méthode de différence, aucune correction n'a été faite. Les deux altitudes non corrigées ont été calculées à l'aide des valeurs naturelles des fonctions trigonométriques.

La vitesse verticale reportée au mois à été de l'ordre de 0,5 à 1 mètre. Nous trouvons groupées ci-dessous les valeurs de ces vitesses verticales par mois :

Balise	Vitesse	Balise	Vitesse	Balise	Vitesse
1	0,45	8	0,54	14	1,1
2	0,57	9	0,64	15	0,96
3	0,64	10	0,75	16	0,87
4	0,69	11	0,66	17 bis	0,68
6	0,55	12	0,75	19	0,71
7	0,84	13	0,84	-	-

Compte tenu de la pente locale, le tassement du névé au-dessous du niveau inférieur de la balise est en moyenne de l'ordre de 0,40 mètre par mois.

3) Altitudes du glacier dans la région des balises.

Les calculs d'altitudes des balises ont permis de tracer quelques courbes de niveau qui sont représentées sur la figure annexe 1 et de connaître l'état du glacier parrapport aux décades précédentes. Ces altitudes sont établies d'aprés les triangulations du 15 avril 1960 et sont celles de la surface du névé, calculées à l'aide de la table des valeurs naturelles des fonctions trigonométriques et des distances horizontales "station balise". Les altitudes des stations sont celles données page 5 . Une double correction de hauteur de théodolite prise égale à 0,20 m de la la plaque aux tourillons et de hauteur de la balise est faite colonne 8. du tableau ci-dessous.

Enfin la correction de niveau apparent + q^{D2} (colonne 8 du tableau) est effectuée avec les valeurs de la table donnant q^{D2} en fonction de la distance, tirée du livre "Triangulation Cadastrale" Jean Gabet, page 234.

Les valeurs obtenues pour une même balise depuis plusieurs piliers differaient au maximum de 25 cm. Un coefficient (poids de la mesure) a été attribué à chaque pilier en fonction de sa distance à la balise (colonne 10 du tableau).

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
balise n°	Station	distance 1-2 (m. mètres)	α (grades)	cotg. α	différence d'alt.: h h=m . cotg.α	altitude du sommet de bal. non corrigée: A_7	correction : $A_7-(h_{bal}+h_{théo})$ $+q^{D2}$	altitude du névé	poids de la mesure p	ALTITUDE ADOPTEE
1	A	702,8	93,7233	0,098910	-69,51	3533,49	-117	3532,32	1	3532,24
	D	1042	94,8703	0,080750	84,14	3533,27	-112	3532,14	1	
2	A	674	92,6039	0,116701	-78,66	3524,34	-117	3523,17	1	3523,14
	D	988,4	95,1723	0,075985	75,10	3524,23	-113	3523,10	1	
3	A	650,6	90,9426	0,143240	-93,19	3509,81	-117	3508,64	1	3508,58
	D	942	95,9149	0,06426	60,53	3509,66	-114	3508,52	1	
4	A	574,4	89,2804	0,16999	-97,64	3505,36	-118	3504,18	1	3504,06
	D	960,2	96,2948	0,05827	55,95	3505,08	-114	3503,94	1	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4 bis	A	559,5	90,3436	0,I52860	-85,52	3517,48	-118	3516,30	1	3516,25
	D_1	1008	95,6988	0,067662	68,20	3517,33	-113	3516,20	1	
5	A	510	87,7694	0,194520	-99,20	3503,80	-118	3502,61	1	3502,55
	D	986,5	96,4877	0,055230	54,48	3503,61	-113	3502,48	1	
6	A	476,0	86,6903	0,212170	-100,99	3502,01	-118	3500,82	1	3500,82
	D	992,0	96,6131	0,053250	52,82	3501,95	-113	3500,82	1	
7	A	447,8	85,9076	0,22502	-100,76	3502,24	-118	3501,05	1	3501,05
	D	998,0	96,6184	0,053170	53,06	3502,19	-113	3501,05	1	
8	A	453,8	86,0863	0,222107	-100,79	3502,21	-118	3501,02	2	3501,03
	B	464,4	86,1428	0,221170	-102,71	3502,12	-118	3500,94	2	
	D	983,8	96,5580	0,054120	53,24	3502,37	-113	3501,23	1	
9	A	486,5	86,8567	0,209440	-103,98	3499,02	-118	3497,84	1	3497,80
	B	499,0	86,6785	0,212360	-105,96	3498,87	-118	3497,69	1	
	D	946,0	96,6465	0,052728	49,88	3499,01	-114	3497,87	1	
9 bis	A	455,7	86,4918	0,215430	-98,17	3504,83	-119	3503,64	1	3503,62
	B	453,2	86,1629	0,220840	-100,08	3504,75	-119	3503,56	1	
	D	992,0	96,4346	0,056060	55,61	3504,74	-115	3503,60	1	
10	A	574,2	88,I020	0,I89100	-108,58	3494,42	-118	3493,24	2	3493,30
	B	569,5	87,7903	0,19418	-110,58	3494,25	-118	3493,07	2	
	D	880,2	96,6836	0,052140	45,89	3495,00	-115	3493,85	1	

2	3	4	5	6	7	8	9	110	11
A	639,8	89,1666	0,171834	-109,93	3493,07	-117	3491,90	2	
1 B	632,4	88,8547	0,17688	-111,86	3492,97	-117	3491,80	2	3491,97
D	823,4	96,5630	0,054038	44,49	3493,62	-116	3492,46	1	
A	701,6	89,6750	0;163620	-114,79	3488,21	-116	3487,04	2	
2 B	695,8	89,4193	0,167750	-116,72	3488,11	-116	3486,94	2	3487,13
D	760,0	96,6771	0,052245	39,70	3488,83	-116	3487,67	1	
A	772,4	89,9565	0,159080	-112,87	3480,13	-116	3478,97	1	
3 B	770,0	89,7670	0,162140	-124,84	3480,00	-116	3478,84	1	3478,92
D	682,3	97,I093	0,045438	31,00	3480,13	-117	3478,96	1	
A	765,6	90,6566	0,14783	-113,18	3489,82	-116	3488,66	1	
3 bis B	756,6	90,3940	0,152050	-115,04	3489,79	-116	3488,63	1	3488,67
D	711,7	96,3555	0,057310	40,79	3489,91	-117	3488,74	1	
A	826,0	90,3115	0;15338	-126,69	3476,31	-116	3475,15	1	
4 B	822,4	90,1294	0,156300	-128,54	3476,29	-116	3475,13	1	3475,21
D	632,0	97,2418	0,043353	27,40	3476,53	-117	3475,35	1	
A	889,0	90,5771	0,1491	-132,54	3470,46	-114	3469,31	1	
5									3469,39
D	575,0	97,6178	0,037437	21,52	3470,65	-118	3469,47	1	
A	959	90,8983	0,14395	-138,04	3464,96	-114	3463,82	1	
6									3463,89
D	518	98,0326	0,030914	16;01	3465,14	-118	3463,96	1	

1	2	3	4	5	6	7	11
17	D	457,6	98,6631	0,021003	9,61	3458,74	3458,74

1	2	(observation)	3	4	5	6	7	10	11
17 bis	A	(douteuse)	1016,8	91,3854	0,I36I50	-138,38	3464,62	(?)	3467,39
	D		496	97,6958	0,036210	17,96	3467,09	3	
	C	(le 7.5.60)	257,2	104,327	0,063433	-16,31	3468,28	1	
18	D		402,2	99,6150	0,006048	2,43	3451,56	3	3452,12
	C	(le 7.5.60)	249,0	107,8298	0,123,615	30,78	3453,81	1	
19	D		471,4	98,2651	0,027260	12,84	3461,97		3461,97

Il ressort de ces altitudes que le niveau du plateau a peu varié depuis les mesures de J. Vallot en 1911. (Cette zône n'avait pas pu être restituée par l' I.G.N. d'après les photos aériennes de 1939 et 1958, faute de détails sur le névé.)

De plus, les travaux topographiques de la campagne sismique de 1960 nous fournissent les valeurs des altitudes, en Août 1960, des balises disposées tous les 30 mètres sur les lignes de tirs A et B Les altitudes des balises de 1961 $A_{1"}$ à $A_{25"}$ et $B_{1"}$ à $B_{13"}$ ont été calculées d'après une triangulation faite en Août 1961. Dans les deux cas, le niveau du glacier est à son minimum (début de l'année budgétaire) et nous pouvons étudier la variation sur un an. Les deux lignes de balises n'étant pas absolument identiques en 1960 et 1961, une correction a été faite pour se ramener aux mêmes points en tenant compte de la pente locale. On trouve que le profil a varié irrégulièrement de + 0,94 m. à - 0,69m., la moyenne s'établissant à + 0,16 m., c'est-à-dire à 1/20e de l'accumulation annuelle.

Il semble donc que le bilan du glacier, pour cette partie, soit équilibré.

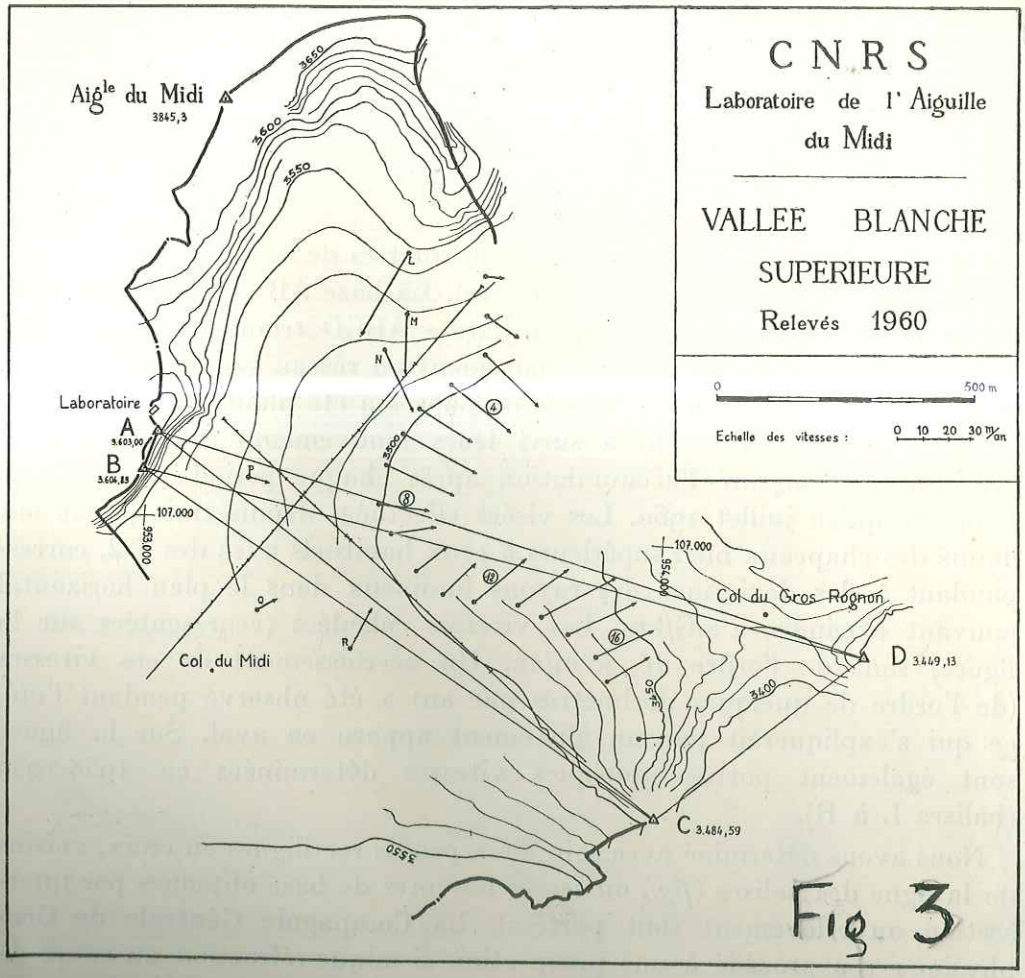

CNRS
Laboratoire de l'Aiguille du Midi
VALLEE BLANCHE SUPERIEURE
Relevés 1960
0
500 m
Echelle des vitesses :
0 10 20 30 m/an
Aig^le du Midi
3845,3
3650
3600
3550
Laboratoire
A
3.603,00
B
3.604,85
107.000
953.000
Col du Midi
Col du Gros Rognon
D 3.449,13
C 3.484,59
3400
3350
3500
L
M
N
P
O
R
4
8
12
16

Fig 3

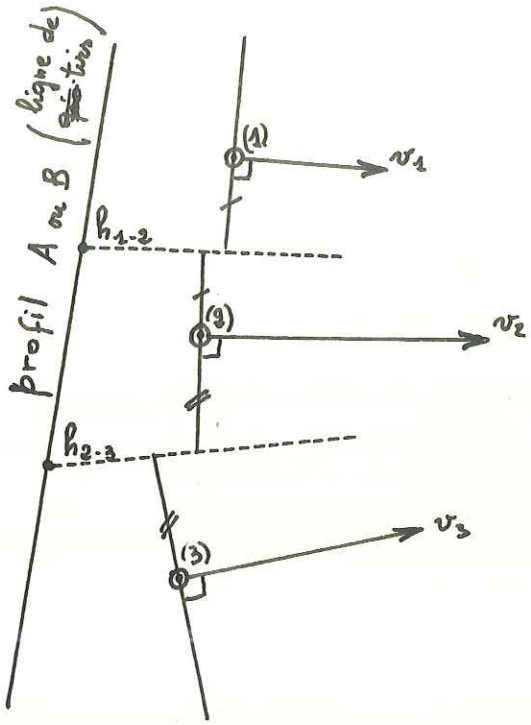
4. EPAISSEUR DE GLACE. PROFIL TRANSVERSAL DU GLACIER.

En Août 1960, une campagne sismique a été entreprise par le laboratoire de l'aiguille du Midi sur ce plateau supérieur de la Vallée Blanche. Elle a regroupé autour du Pr. L Lliboutry et de M. Bertin, de la C.G.G. ; MMrs : Viry Ingénieur, Bourquin, Boutte-Feu, tous deux également de la C/G/G/ et les membres du Laboratoire suivants : Vallon, d'Andriesens, Belin, Deschaux, Meylan, Maitre et moi.

Les tirs ont été distribués sur deux lignes en croix A et B assez proches de la rangée de balises 1 à 19 (figure annexe 3) suivant lesquelles deux profils du glacier ont été connus. L'épaisseur de glace est remarquablement constante et voisine de 145 mètres auxquels s'ajoutent environ 30 mètres de névé. L'épaisseur totale entièrement ramenée en glace, compte tenu des densités (au début Août : 0,53 ± 0,02 dans la neige de l'hiver ; 0,67 ± 0,05 dans le névé) est de 165 mètres ± 5 mètres.

L'aire de la section du glacier suivant la rangée de balises 1 à 19 est calculée en partant de ces résultats. Chaque intervalle entre deux est partagé en deux parties égales selon une ligne de courant (qui est choisie comme étant la bissectrice des directions des deux balises) figure annexe 1). La largeur de chaque tronçon est lue sur le graphique au 1/1000 et la hauteur lue sur les coupes transversales au 1/2000 établies par la campagne sismique (planche 2) en choisissant les points d'intersection des lignes de courant bordant les tronçons, avec les profils A et B (figure ci-dessus : la profondeur est lue en $h_{1.2}$ et en $h_{2.3}$).

Le glacier est ainsi débité en 18 tranches verticales dont l'aire est connue. L'aire totale de la section des balises est ainsi trouvée égale à 195,3 x 10^3 m2.



5. DEBIT DE GLACE ACCUMULATION

Le débit de glace traversant la section verticale des balises 1 à 19 a été calculé en additionnant le débit de chacune des 18 tranches décrites précedemment .

L'aire de chaque tranche multipliée par les 4/5 de la vitesse superficielle u_0 indiquée par la balise correspondante (valeurs de la page 24) donne le débit. Le coefficient 4/5 découle de la formule.

$$u = u_0 - \frac{B}{n+1} (\rho g \sin \alpha)^n z^{n+1}$$

en posant :

$$a = - \frac{B}{n+1} (\rho g \sin \alpha)^n z^{n+1}$$

et en prenant :

$$n = 3$$

On a :

$$u = u_0 - az^4$$

soit e, l'épaisseur de glace :

$$\bar{u} = \frac{1}{e} \int_0^e u \, dz$$

$$\bar{u} = \frac{1}{e} \int_0^e (u_0 - az^4) \, dz$$

$$= \frac{1}{e} \left[u_0 e - a \frac{e^5}{5} \right]$$

$\bar{u} = o$ pour $z = e$ donc $a = \frac{u_o}{e^4}$

$$\bar{u} = u_o - \frac{1}{e} \quad \frac{uo}{e^4} \quad \frac{e^5}{5}$$

$$= u_o - \frac{u^o}{5}$$

$$= \frac{4}{5} u_o$$

Débit :

Le débit annuel a été trouvé de 3.502×10^3 m^3/an.

L'imprecisions de cette mesure est attribuée :

1º : aux imprécisions sur l'épaisseur du glacier établie à 5 mètres près, soit à 3% près.

2º : aux imprecisions sur les vitesses horizontales estimées à 1% près.

3º : à une réptation du névé qui se déforme en surface et tendrait à donner des vitesses un peu trop fortes.

Le débit solide est ainsi calculé à 6% près.

Accumulation :

La surface du glacier entre la ligne de balises et la rimaye est de 0,99 km^2. La surface du bassin-versant au-dessus des balises est 1,14 km^2 à 2% près.

- surface par défaut : 1,122 km^2
- surface par excés : 1,122 + (0,05 x 0,7) = 1,157 km^2

(L'incertitude provient de la ligne de partage des glaces qui descendent du Mont-Blanc du Tacul).

L'accumulation nette, s'il y a équilibre, est alors 3,20 mètres de glace, soit 2,70 mètres d'eau.

6. EPAISSEUR DE GLACE CALCULEE D'APRES LA LOI DE DEFORMATION DE LA GLACE

Partant de la vitesse superficielle u_o, on peut calculer l'épaisseur du glacier et comparer les résultats avec les données de la campagne sismique.

1º Vitesse superficielle u_o

La vitesse de la balise "puits" en amont (8,5 m/an) et celle de la balise 8 (19,6m/an) toutes deux dans l'axe du glacier, donnent une vitesse superficielle u_o = 1/4 mètres par an.

2º/Pente

Les pentes locales mesurées sur le terrain sont :

- entre 9 et 9 bis : 0,112
- entre 13 et 13 bis : 0,08
- entre 17 et 17 bis : 0,08
- autour de la balise "puits" : 0,08
- autour de la balise "tacul" : 0,05
- autour du point A8 (intersection des lignes de tir de la campagne sismique) où les courbes de niveau ont été tracées avec précision : 0,100.

La pente de 0,100 semble donc une bonne moyenne.

3º Rayon hydraulique e de la section droite du glacier

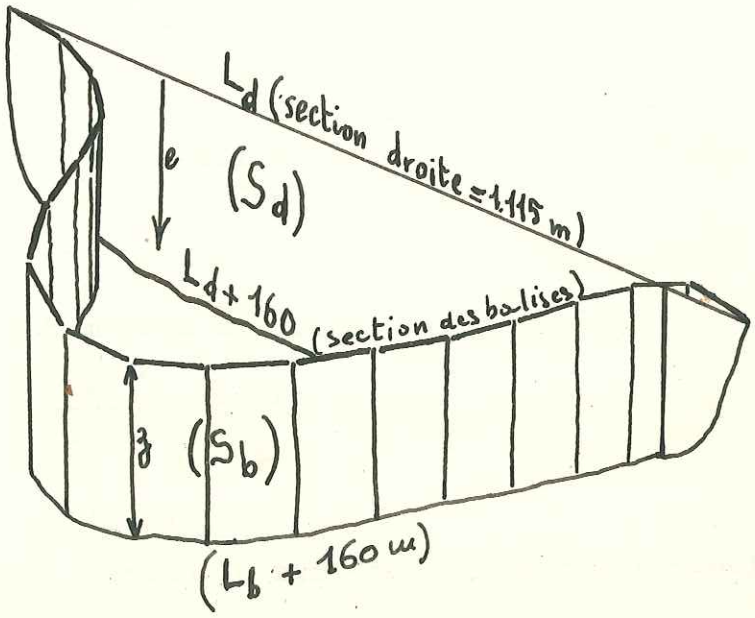
Le long de la section des géophones, le contour du glacier

le long du lit jusqu'à la surface (périmètre mouillé) est plus long que le profil mesuré sur la surface de 160 mètres. Nous pouvons admettre que le long d'une autre section, le périmètre mouillé est aussi plus long que la section de 160 mètres. En particulier le long de la section droite (1 115 mètres) le périmètre mouillé est ainsi 1 275 mètres.

soient (figure ci-dessous):

- S_d : l'aire de la section droite.
- L_d : la longueur de la section droite
  L_d= 1 115 mètres
- S_b = l'aire de la section des balises.
- L_b = la longueur de la section des balises.
- z : l'épaisseur de glace en S_b, déterminée par la campagne sismique.

$$z = \frac{S_d}{L_d} = 165 \text{ mètres}$$



Le rayon hydraulique de la section droite est :

$$e = \frac{S_d}{L_d + 160}$$

Chaque extrémité de la section des balises vient buter contre le lit rocheux avec une orientation assez peu différente de celle de la section droite. Les angles formés par la section droite et les bords de la section des balises sont :

- rive gauche du glacier (balise I) = 17º
- rive droite du glacier (balise 19) = 9º

Il est donc possible de confondre, sur les bords des deux sections du glacier et d'écrire :

$$S_d = S_b \cdot \frac{L_d}{L_b}$$

$$e = \frac{S_b}{L_b} \cdot \frac{L_d}{L_d + 160}$$

$$= \frac{S_b}{L_b} \cdot \frac{1.115}{1.275}$$

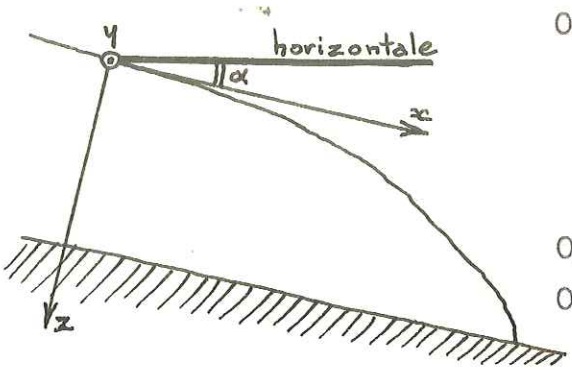
$S_b = z = 165$ mètres de glace

$$e = 165 \cdot \frac{1.115}{1.275} = 144 \text{ mètres}$$

4º) <u>Tensions de cisaillement</u>

Nous utiliserons le système d'axes trirectangles de coordonnées suivant :

O en un point de la surface du glacier



Ox = suivant la ligne de plus grande pente de la surface du glacier et dirigé vers l'aval, faisant un angle avec l'horizontale.

Oy = horizontal

Oz = perpendiculaire à la surface du glacier et dirigé vers le bas.

Les composantes de la vitesse suivant ces trois axes sont v_x, v_y, v_z.

a) <u>en surface</u>

En A_8, le rayon de courbure des courbes de niveau est $\frac{ds}{d}$ = 280 mètres. En admettant que les vitesses sont perpendiculaires aux courbes de niveau, et en prenant

v_x = I4 m/an =

$$\dot{\varepsilon}_y = - \frac{v_x}{280} = - 0,050$$

En prenant les vitesses de la balise "puits" (8,5 m/an) et de la balise 8 (I9,6 m/an) 260 mètres plus en aval :

$$\dot{\varepsilon}_x = \frac{I9,6 - 8,5}{260} = 0,045$$

$\dot{\varepsilon}_z = - (\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y) = + 0,005$. Cette valeur est inférieure à la précision des mesures.

$$\dot{\gamma} = \sqrt{2 (\dot{\varepsilon}_x^2 + \dot{\varepsilon}_y^2 + \dot{\varepsilon}_z^2) + \dot{\gamma}_{xy}^2 + \dot{\gamma}_{xz}^2 + \dot{\gamma}_{zx}^2}$$

Si on adopte la loi donnée par Meier:

$$\tau = \sqrt{\frac{\dot{\gamma}}{0,164}}$$ (voir formule 1 , §5 ,ci-dessous)

$= 0,77$ bar.

b) contre le lit

$= \rho\, g\, e \sin \alpha$

$= 0,088 \times 144 \times 0,100$

$= 1,24$ bar

5º) Calcul de l'épaisseur d'après la loi de déformation de la glace

On admet que la glace obéit à une loi :

$$\dot{\gamma} = B\,\tau^{n} \qquad (1)$$

valable pour $0,6 < \tau < 1,3$ bar, lorsque l'écoulement est à vitesses parallèles et lorsqu'il n'y a pas de glissement sur le lit.

$\dot{\gamma}$ = vitesse de cisaillement effective

τ = tension de cisaillement effective

Dans le cas de la Vallée Blanche (Glacier tempéré) on peut admettre avec le bar et l'an comme unités:

$B = 0,164$

$n = 3$

soit :

$$\boxed{\dot{\gamma} = 0{,}164\ \tau^{3} \text{ par an}}$$

L'épaisseur d'un glacier extrêmement large est donnée par :

$$e = \frac{13{,}7}{\sin\alpha}\ (u_o \sin\alpha)^{\frac{1}{4}}$$

$$= \frac{13{,}7}{0{,}100} \times 1{,}09$$

$$= 149 \text{ mètres}$$

L'accord est excellent avec la valeur donnée précédemment.

GLACIER DU TACUL

- Quadrilatère de base
- Implantation et triangulation des balises
- Glissement sur le lit - Flux de glace
- Ablation

Dans sa partie médiane, la Vallée Blanche, aprés la chute de prés de 300 mètres des Séracs du Géant est canalisée par les contreforts S.W des Aiguilles de Chamonix et ceux N.E de l'aiguille du Tacul. Cette partie, délimitée vers l'amont par les séracs du géant et vers l'aval par le "tournant" de la mar de glace, est nommée le glacier du Tacul.

C'est sur le glacier du Tacul que des études à peu près identiques à celles de la Vallée Blanche supérieure ont été effectuées par le Laboratoire de l'Aiguille du Midi, mais cette fois relatives à une zone d'ablation.

Sur le terrain les travaux ont été les suivants;

- implantation de balises
- triangulation
- campagne sismique
- mesures d'ablation
- Photogrammétrie.

Le refuge du Requin, à proximité de la chute de séracs a favorisé ces travaux vu la difficulté d'accés que présente cette zone.

Un profil grossier de cette parite médiane de la Vallée Blanche nous donne de l'amont vers l'aval :

- sur le glacier du Géant vers l'altutude de 2 800 : zone d"équilibre accumulation-ablation de la Vallée Blanche.

- vers l'altitude de 2 700 bord supérieur de la chute de séracs.

- chute de séracs : pente moyenne de 62,5 %

- vers l'altitude 2 450 : bas de la chute de séracs et naissance vers l'aval d'un replat de 500 mètres de long (la salle à manger des skieurs).

- deuxième rupture de pente juste à l'aplomb du refuge du requin, accusant une dénivellation de 100 mètres.

- enfin entre l'altitude de 2 350 et 2 250 le glacier du Tacul prend progressivement son profil définitif avec une pente de 0,08%.

Notons qu'au niveau de la salle à manger le glacier reçoit sur sa rive droite le glacier des Périades.

1. QUADRILATERE DE BASE P M R U

Quatre piliers ont été rédigés :

- P (pignon) sur le pignon de la façade Est du refuge du Requin, en avril 1960,
- M (Michel) en dessous et au Nord-Est du refuge,
- R (Roland) en dessous et au Sud-Ouest du refuge,
- U (Ulysse) sur les roches moutonnées sous le Glacier des Périades,
  ces trois derniers en juillet 1960 (voir croquis au 1/2000 ème).

Les mesures ont été faites au théodolite WILD T2 et pous la base MR à la stadia. La mesure de MR (moyenne de 12 lectures) a donné aprés réduction au niveau de la mer

log MR = 1,989460
MR = 97,609 mètres

Les triangles PMR et MRU ont été déterminés par visées réciproques avec une erreur de fermeture de - 0^c, 021 pour PMR et de -0^c, 0007 pour MRU. Les calculs des cordonnées des quatres piliers ont été effectués par le Pr. L. Lliboutry et les détails en sont donnés dans le polycopié:

"Travaux topographiques effectués en 1960 sur la Vallée Blanche et le glacier du Tacul" (page 13 et suivantes). Nous en trouverons les résultats groupés dans le tableau ci-dessous.

	X	Y	Z
P	956 344,I	I08 670,3	2 522,0
R	956 366,3	I08 6I2,I	2 485,9
M			2 490,0
U	957 376,0	I08 342,5	2 48I,I

2. IMPLANTATION et TRIANGULATION DES BALISES I-8. VITESSES u_o

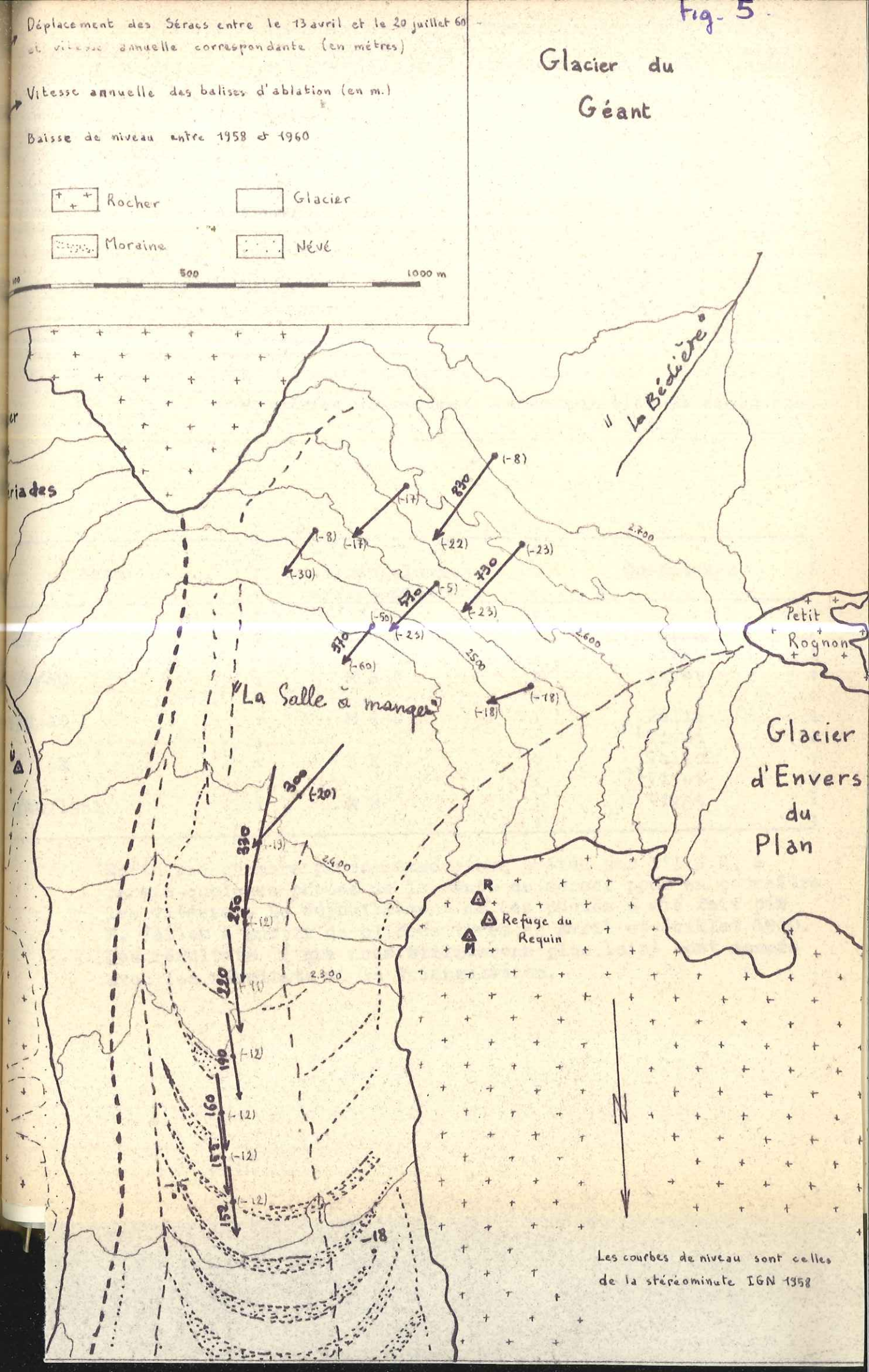
Du 8 au 20 juillet I960, 8 balises d'ablation analogues à celles utilisées par les Expéditions Polaires Françaises au Grœnland ont été implantées avec la sonde Kasser dans l'axe du glâcier, depuis le niveau de la salle-à-manger jusqu'à proximité de la courbe 2.250 (en I960). Ces balises d'un diamètre de 30 millimètres, hautes de 8 mètres sont articulées par tronçons de 2mètres ayant chacun une couleur différente. Elles peuvent être suivies dans une zone telle que le Glacier du Tacul, pendant plusieurs années. Un dispositif d'ancrage est installé à l'extrémité inférieure de chaque tronçon de 2 mètres au moyen de deux lames d'acier, ceci pour éviter que la balise ne remonte en surface. En zone d'ablation le trou est en effet plein d'eau. Les tronçons sont ainsi répartis, du haut vers le bas :

- vert
- rouge
- jaune
- noir

Les balises sont numérotées 1 à 8 de l'amont vers l'aval. La distance séparant deux balises est de l'ordre de I20 mètres. Leur disposition par rapport aux chevrons du glacier sont :

Fig. 5

Glacier du Géant



: 1 : bosse
2 : envers
3 : creux
4 : bosse
5 : bosse
6 ; creux
7 : envers
8 : bosse

Cinq séries de mesures (triangulation et émergence) permettent de suivre leur mouvement en 1960 et 1961 ce sont:

date	triangulation effectuée depuis	Opérateurs
20/7/60	M R U	Belin, Vivet
7/8/60	M R U	Vivet
26/8/60	M R U	Belin, Vivet
5/7/61	M R U	Vallon, Vivet
13/10/1961	M R	Vivet

Enfin une chambre photogrammétrique prétée par l'I G N, a permis quelques photos de la chute de séracs pour en connaître les vitesses. Le dépouillement de ces photos a été fait par M. Vallon à partir de clichés tirés en Avril et Juillet 1960. Les résultats (que nous utiliserons plus loin) sont donnés avec les résultats de la triangulation.

Vitesses horizontales

Les méthodes de travail (visées et dépouillements) sont celles décrites pour la Vallée Blanche Supérieure. Les dépouillements ont été faits pour l'année I960 par M.VALLON qui a travaillé pour le schéma au I/2000è. L'échelle des déplacements est le I/I00è. Les déplacements apparents des balises depuis chaque station n'ont pas été ramenés à l'année sur le schéma au I/2000è comme pour la Vallée Blanche Supérieure. Les vitesses étant ici trop grandes, les déplacements apparents depuis chaque station et le déplacement réel (de la position initiale de la balise à la position la plus probable à l'intérieur du "chapeau") sont en Δt jours, soit :

- du 20 juillet I960 au 7 août I960
- du 7 août I960 au 26 août I960

Ces valeurs lues sur le schéma au I/2000è ont été ensuite ramenées en mètres par an, elles sont :

balise	vitesse en m/an	balise	vitesse en m/an
I	300	5	I90
2	330	6	I60
3	250	7	I55
4	220	8	I52

Dans la chute de séracs, les valeurs des vitesses annuelles données par la photogrammétrie sont :

au sommet (vers 2.700 mètres d'altitude) : 830 m/an

à la base (vers 2.450 mètres d'altitude) : 360 m/an

la vitesse ayant décru progressivement. (voir figure 5 et 6)

La zone des séracs est franchie en 7 mois.

Fig. 6

GLACIER DU TACUL

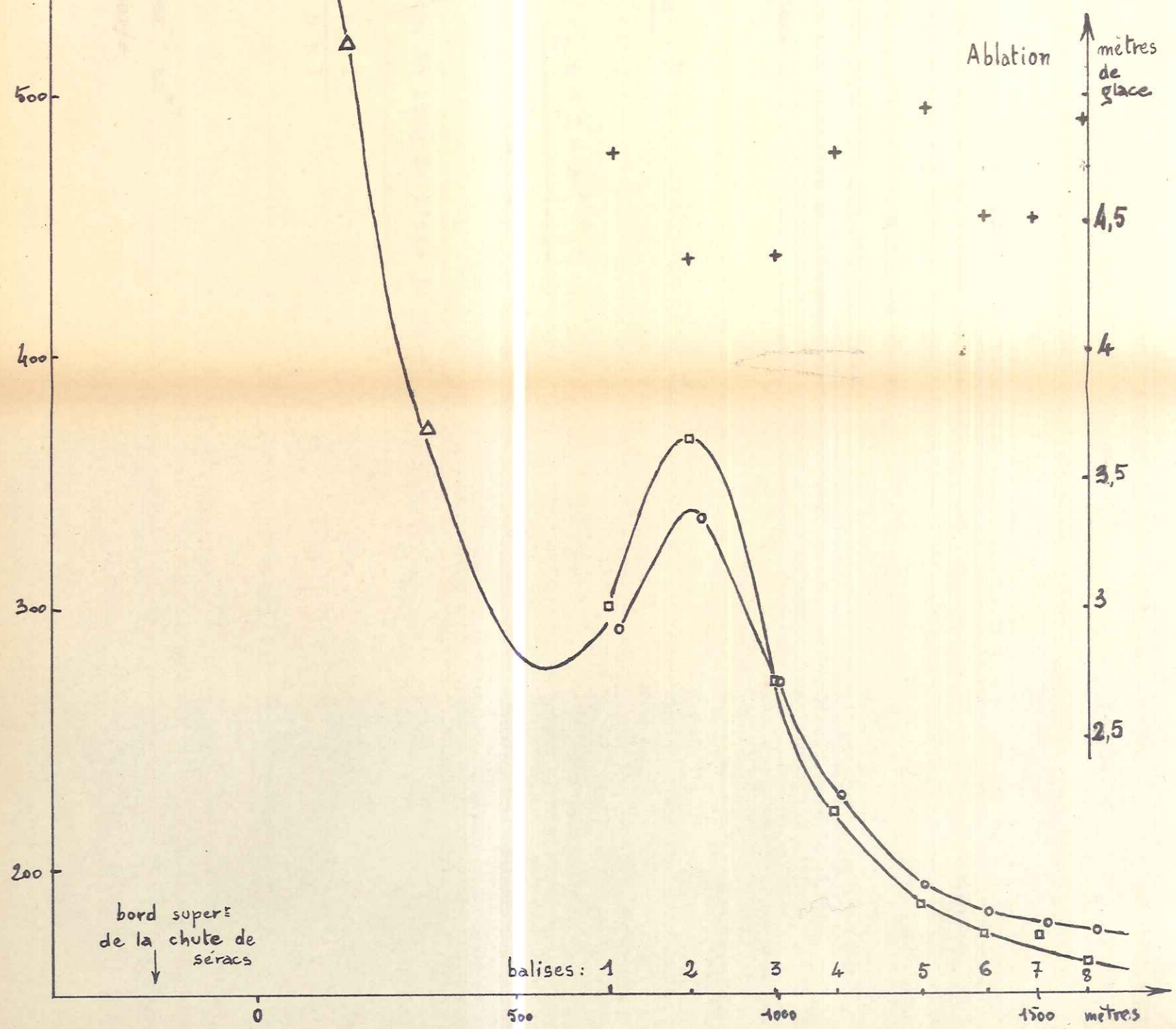
Vitesses horizontales en surface :

Δ : séracs

□ : balises : du 20.7.60 au 7.8.60 (ramenée en m/an)

o : balises : du 7.8.60 au 26.8.60 (ramenée en m/an)

+ : Ablation de Septbre 1960 à Septbre 1961



3 - GLISSEMENT du GLACIER sur le LIT. FLUX de GLACE

Les sondages sismiques ont mis en évidence l'existence de deux surcreusements *. Malgré cela, en première approximation, on peut assimiler le lit rocheux à une gouttière cylindrique. Une section transversale du glacier suivant le parallèle Lambert Y = I09.600 (suivant à peu près la courbe du niveau 2.230m) donne comme profil un demi-cercle de rayon R = 400 mètres. La pente du glacier est 0,085 dans cet endroit. L'ablation annuelle étant faible par rapport à la vitesse, on peut admettre que les vitesses sont toutes parallèles, ce qui conduit aux formules suivantes donnant la vitesse à la distance r de l'axe

$$\tau = \frac{r}{2} \rho g \sin\alpha$$

$$\gamma = \frac{du}{dr} = B \left(\frac{r \rho g \sin\alpha}{2} \right)^n$$

$$u = u_b + B \left(\frac{\rho g \sin\alpha}{2} \right)^n \frac{R^{n+I} - r^{n+I}}{n+I}$$

En particulier à la surface, le long de l'axe du glacier :

$$u_o = u_b + B \left(\frac{\rho g \sin\alpha}{2} \right)^n \frac{R^{n+I}}{n+I}$$

<u>Glissement sur le lit u_b</u>

Si on adopte : $n = 3$

$B = 0,I64 \text{ bar}^{-3} \text{ an}^{+I}$

$\rho g = 0,088 \text{ bar/m}$

avec $\sin\alpha = 0,085$ =

$$\left(\frac{\rho\, g \sin\alpha}{2}\right)^3 = 5 \,.\, 10^{-8}$$

avec R = 400 mètres =

$$\frac{R^{n+1}}{n+1} = 64 \,.\, 10^{8}$$

en prenant comme vitesse superficielle u_o = 145 m/an =

$$u_b = 145 - 0{,}164 \times 5.\, 10^{-8} \times 64 \,.\, 10^{8} = 90 \text{ m/an}$$

<u>Vitesse moyenne $\bar{u}$</u> : dans le cas présent, à vitesses parallèles et profil semi-circulaire on a :

$$\bar{u} = \frac{(n+1)\, u_o + 2\, u_b}{n+3}$$

<u>Flux ϕ</u>

$$\phi = 130 \times \frac{R^2}{2}$$

$$= 32{,}6 \text{ hm}^3/\text{an}$$

4 - ABLATION

Les résultats déterminés en I960 et I96I à partir des balises I - 8 sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Balise nº	Altitude (m) le 2I.7.60	Ablation (m de glace)		Position par rapport aux chevrons
		I960	I96I	
I	2.39I	I,44	4,79	bosse
2	2.373	I,54	4,37	envers
3	2.3I8	I,55	4,38	creux
4	2.299	I,73	4,78	bosse
5	2.283	I,74	4,95	bosse
6	2.27I	I,68	4,5I	creux
7	2.262	I,82	4,50	envers
8	2.252	I,79	4,90	bosse

L'été I960 a été absolument exceptionnel, la glace vive n'apparaîssant que fin juillet et les premières chutes de neige apparaîssant début septembre. Nous retiendrons les valeurs de I96I année normale et comparablement années I957-58-59. En faisant la moyenne pour un creux et une bosse, on obtient une ablation annuelle,nette de :

4,58 mètres de glace entre 2.300 et 2.400 m d'altitude

4,73 mètres de glace entre 2.250 et 2.300 m d'altitude

B I L A N G E N E R A L

de la

M E R de G L A C E

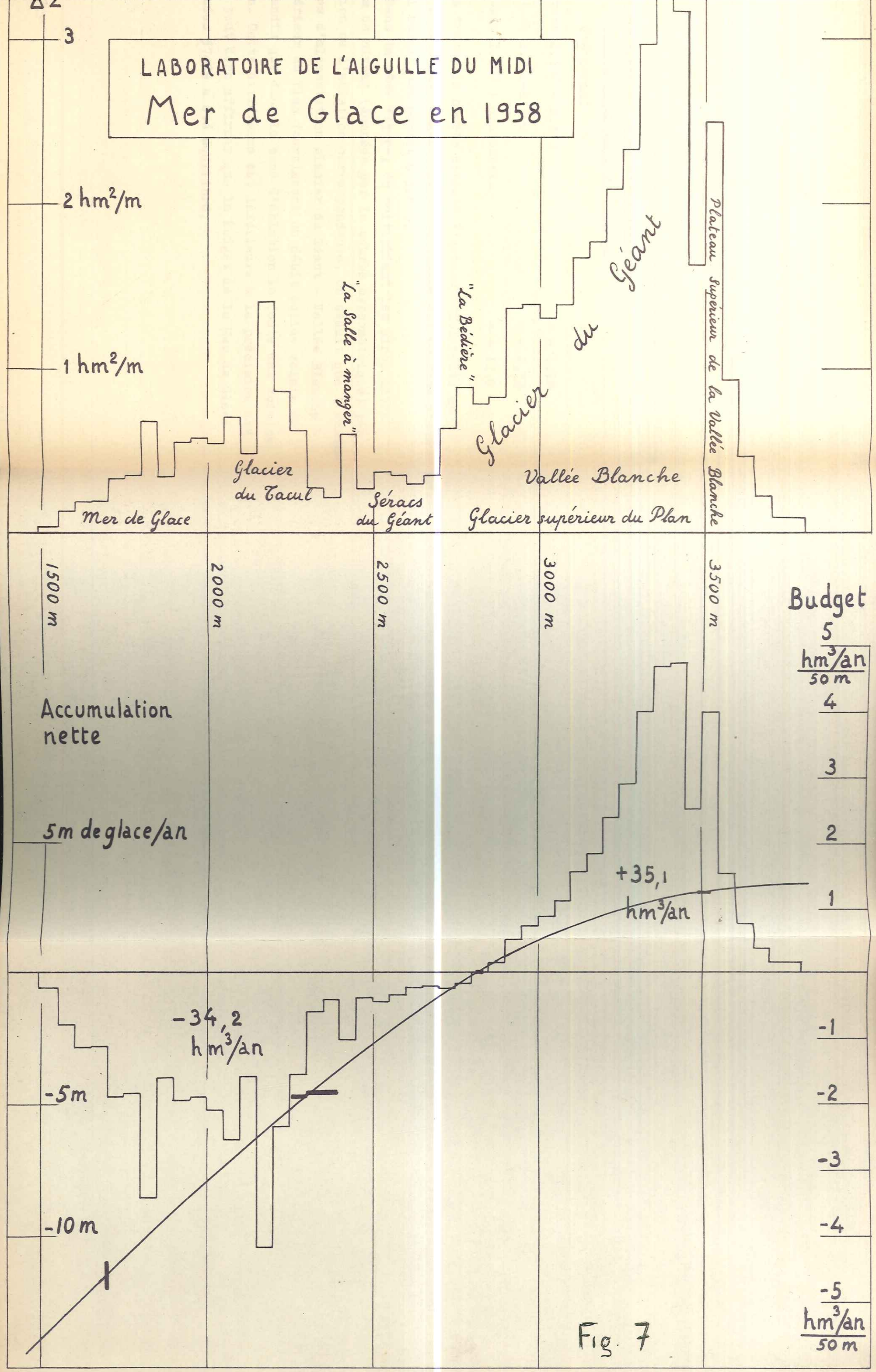
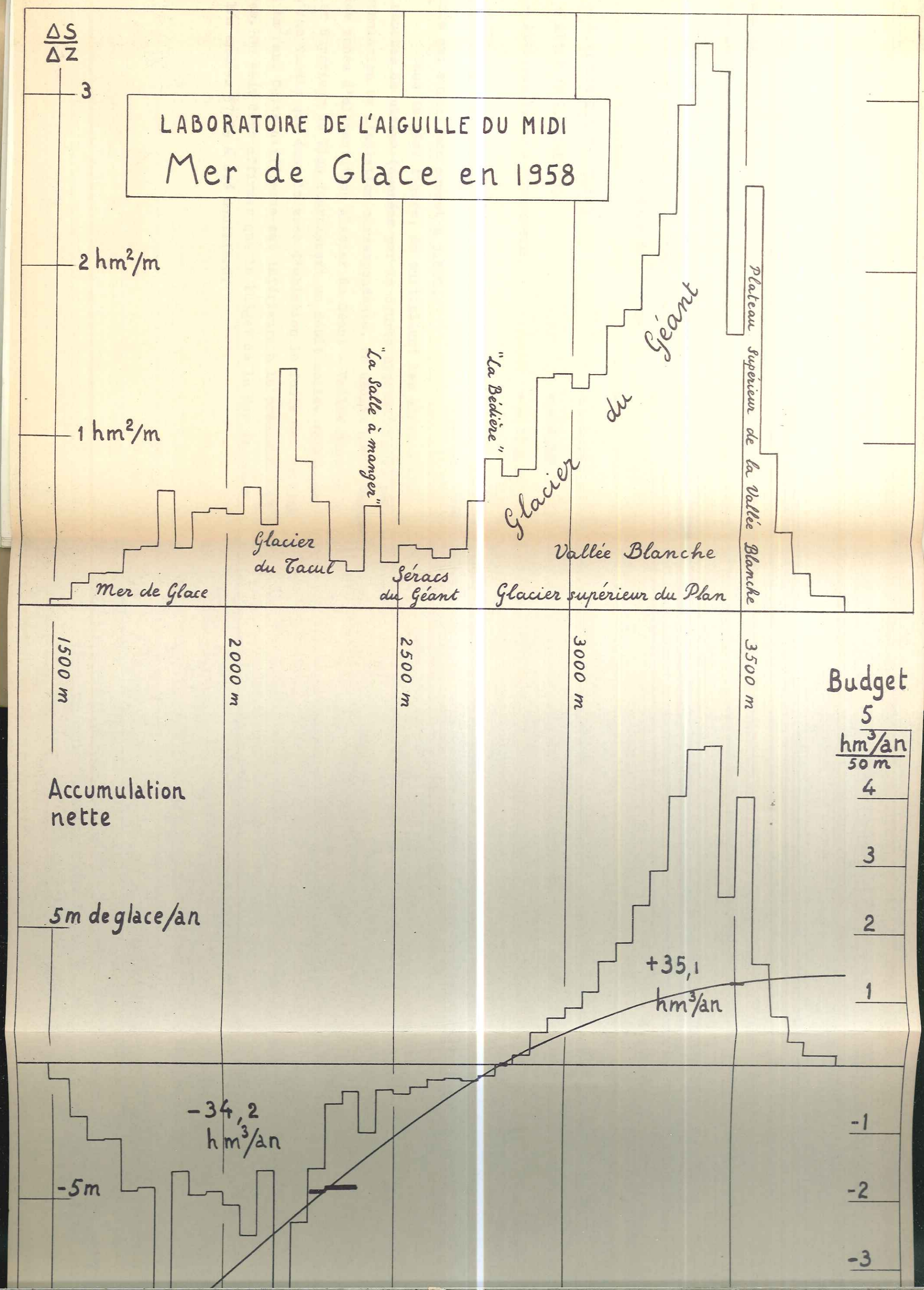

LABORATOIRE DE L'AIGUILLE DU MIDI
Mer de Glace en 1958
3
2 hm²/m
1 hm²/m
Mer de Glace
Glacier du Tacul
"La Salle à manger"
Séracs du Géant
"La Bédière"
Glacier du Géant
Vallée Blanche
Glacier supérieur du Plan
Plateau supérieur de la Vallée Blanche
1500 m
2000 m
2500 m
3000 m
3500 m
Budget
5
hm³/an
50 m
4
3
2
1
-1
-2
-3
-4
-5
hm³/an
50 m
Accumulation nette
5m de glace/an
-5m
-10m
+35,1 hm³/an
-34,2 hm³/an

Fig. 7


LABORATOIRE DE L'AIGUILLE DU MIDI
Mer de Glace en 1958
ΔS/ΔZ
3
2 hm²/m
1 hm²/m
Mer de Glace
Glacier du Tacul
"La Salle à manger"
Séracs du Géant
"La Bédière"
Glacier du Géant
Glacier supérieur du Plan
Vallée Blanche
Plateau supérieur de la Vallée Blanche
1500 m
2000 m
2500 m
3000 m
3500 m
Budget
5
hm³/an
50 m
4
3
2
1
-1
-2
-3
Accumulation nette
5m de glace/an
-5m
+35,1 hm³/an
-34,2 hm³/an

Partant des valeurs d'accumulation et d'ablation suivantes, fournies par les chapitres précédents pour la Vallée Blanche Supérieure et le glacier du =Tacul et par des mesures de Millecamps pour le Montenvers :

- Altitude 3.500 = Vallée Blanche Supérieure = + 3,20 de glace
- Altitude 2.850 m : zone d'équilibre, limite inférieure du névé en été normal = 0
- Altitude 2.300 - 2.400 = - 4,58
- Altitude 2.250-2.300 = - 4,73
- Altitude I.700 : Montenvers = - II,5

nous pouvons tracer la courbe donnant l'accumulation nette en fonction de l'altitude (figure 7). Cette courbe est voisine d'une parabole qui aurait son sommet à 3.800.

Dans la même figure, en multipliant les aires entre deux courbes de niveau (données par la courbe hypsométrique) par l'accumulation ou l'ablation correspondante, on déduit que l'ensemble des zones d'alimentation glacier du Géant - Vallée Blanche - Glacier Supérieur du Plan fournissent un débit solide voisin de 35 hm^3/an tandis que dans la zone d'ablation la fonte est voisine de 34 hm^3/an. Cette différence est inférieure à la précision des mesures.?On peut donc affirmer que le budget de la Mer de Glace vers les années 57-59 a été équilibré.

VARIATIONS DE LA DENSITE

DU NEVE

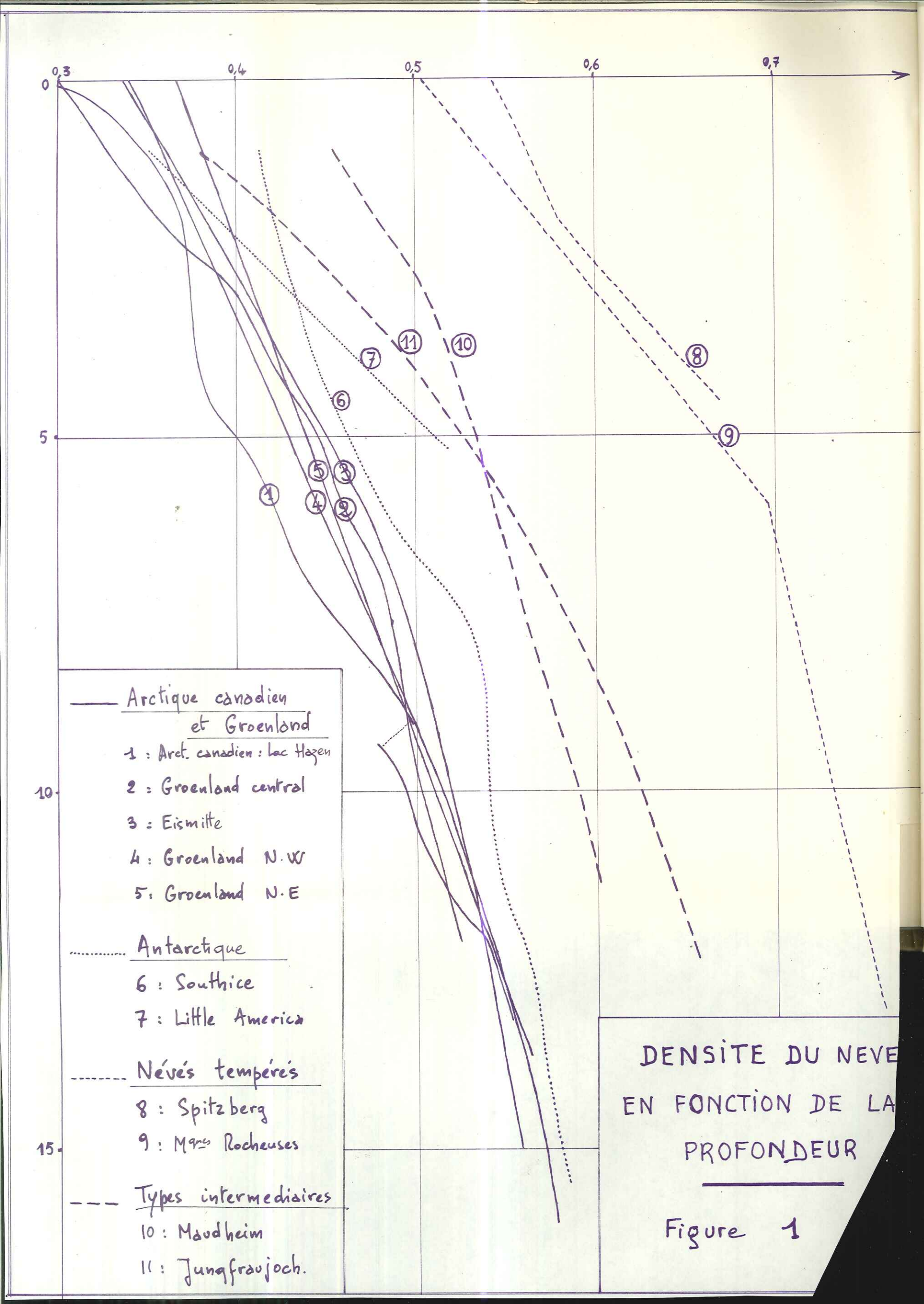
CONDITIONS INITIALES.NEIGE FRAICHE.

La densité de la neige froide fraichement tombée dépend de la forme des cristaux,donc indirectement de la température, mais surtout de la vitesse du vent au moment de la chute.Les valeurs de densité de la neige en surface s'échelonnent ainsi selon les conditions de climat de 0,040 environ(valeur trouvée par Bossolasco dans les Alpes,au Säntis-2500 m. d'alt.-sans vent et pour une température de l'air de -13°C.) à 0,400 environ(neige tombée par vent très fort,densité de la neige d' hiver dans l'Antartique).

Rapidement sous l' effet du vent et du tassement,la densité de la neige dans les premiers mètres du manteau nival s'établit vers 0,3 à0,4.Eété 1895,Vallot mesurait au sommet du Mont-Blanc la densité de la neige de l'hiver et trouvait 0,38 alors que la densité de neige tombée un mois auparavant était 0,34.

DENSITE DU NEVE.

Si l'on porte la densité en fonction de la profondeur, on obtiend souvent une courbe sinueuse avec des fluctuations annuelles marquées.Par la méthode dela moyenne mobile on peut alors adoucir cette courbe et la remplacer par une courbe à pente lentement variable.D'autre fois la dispertion des mesures est telle que cette fluctuation annuelle n'apparait pas.



DENSITE DU NEVE
EN FONCTION DE LA
PROFONDEUR

Figure 1

Su
sité pou
raporter
1º à des

2º àdes

3º à de

Ces
sont gr
canadie
à ce qu
Comme l
profil
de IO à
les dou
froid p
tempera

Sur une même figure (fig.1)différentes courbes de densité pour les 15 premiers mètres ont été portées. Elles se raportent:

1º à des régions où la fonte n'intervient pas:

-Arctique canadien(Lac Hazen 80° lat.N):Hattersley Smith

-Groenland central:British North Greenland Expedition(1)
(Eismitte):Sorge(2)

-Groenland N-W(300 km. à l'E. de Thule 77° N.)Langway (3)
Chester

Groenland N-E (Waterhouse et Steaves
(courbes 1à5)

-Antarctique (Southice 82° S.):Stephenson et Lister (4)
(Little America) Wade.
(courbes 6&7)

2º àdes névés tempérés:

-Spitzberg (Isachen's Plateau 850m. d'alt.):Ahlmann

-Montagnes Rocheuses(Seward Glacier 1790 m. d'alt:Sharp
(courbes 8 et 9)

3º à des types intermédiaires:

-Maudheim (côte antarctique 60° S):Schytt

-Jungfraujoch (Alpes 3600 m. d'alt.):Seligman
(courbes 10 et 11)

Ces courbes sont très voisines mais seules celles du Groenland sont groupées.Les densités sont plus faibles dans l'Arctique canadien,plus fortes dans l'Antarctique,fait certainement dû à ce que la vitesse moyenne du vent varie dans le même sens. Comme l'a montré Benson,il y a une discontinuité dans la pente du profil de densité pour densité = 0,54 environ,soit une profondeur de IO à I2 m. Benson suggère que ce tassement accéléré dans les douze premiers mètres est dû à ce que ,la vague annuelle de froid pénétrant jusqu'à ce tte profondeur,il y a des gradients de température qui entrainent la formation de neige coulante.

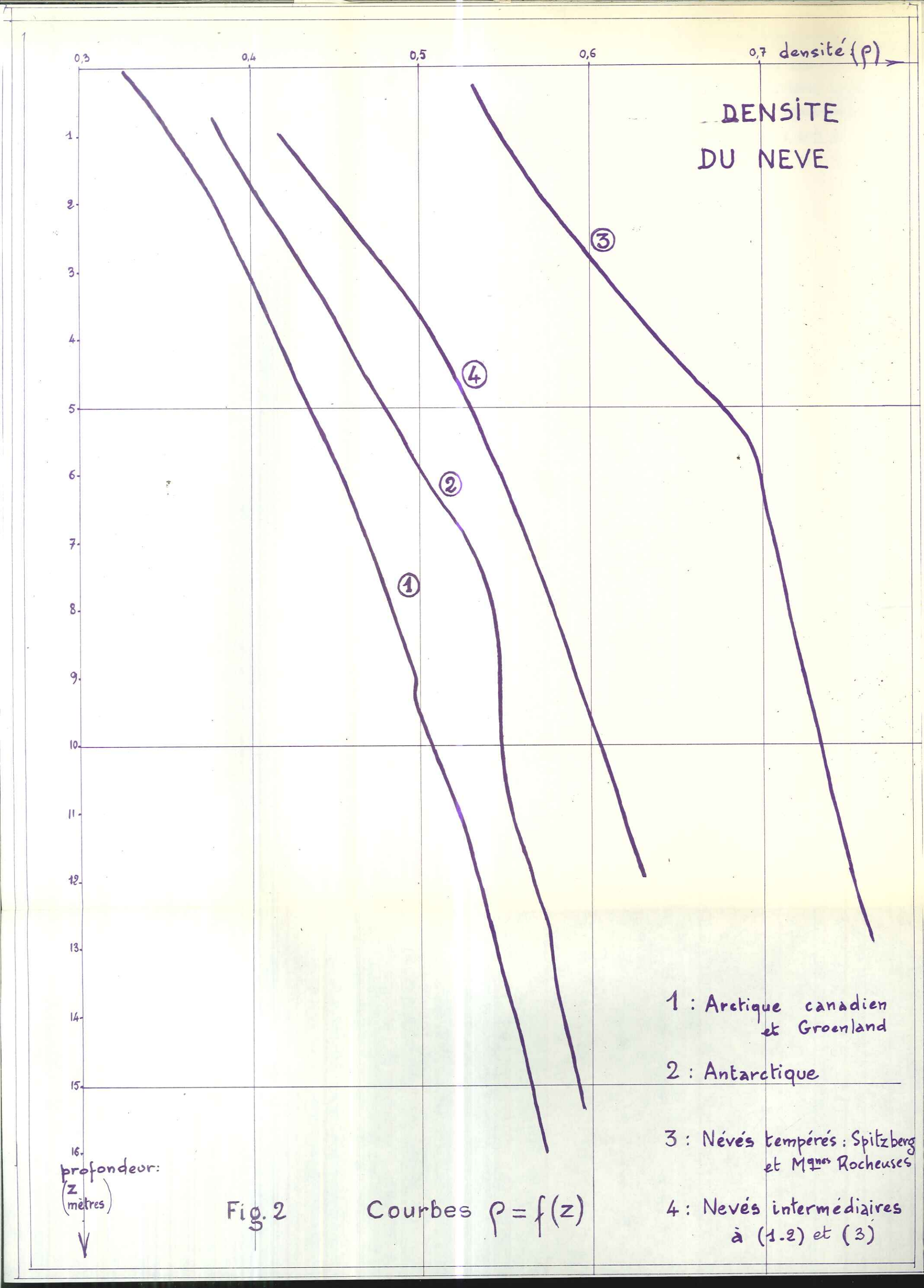


Fig. 2 Courbes $\rho = f(z)$

Les courbes de densité des névés tempérés montrent une densité plus forte dès le départ et qui atteint 0,70 vers 6 m. de profondeur. C'est à cette profondeur qu'il semble également y avoir une discontinuité dans la pente du profil.

Les courbes de types de névés intermédiaires (Jungfraujoch et Maudheim) sont intermédiaires entre les deux cas extrêmes précédents.

La figure 2 donne une moyenne de densités pour chacun des types précédents, en groupant les courbes relatives.

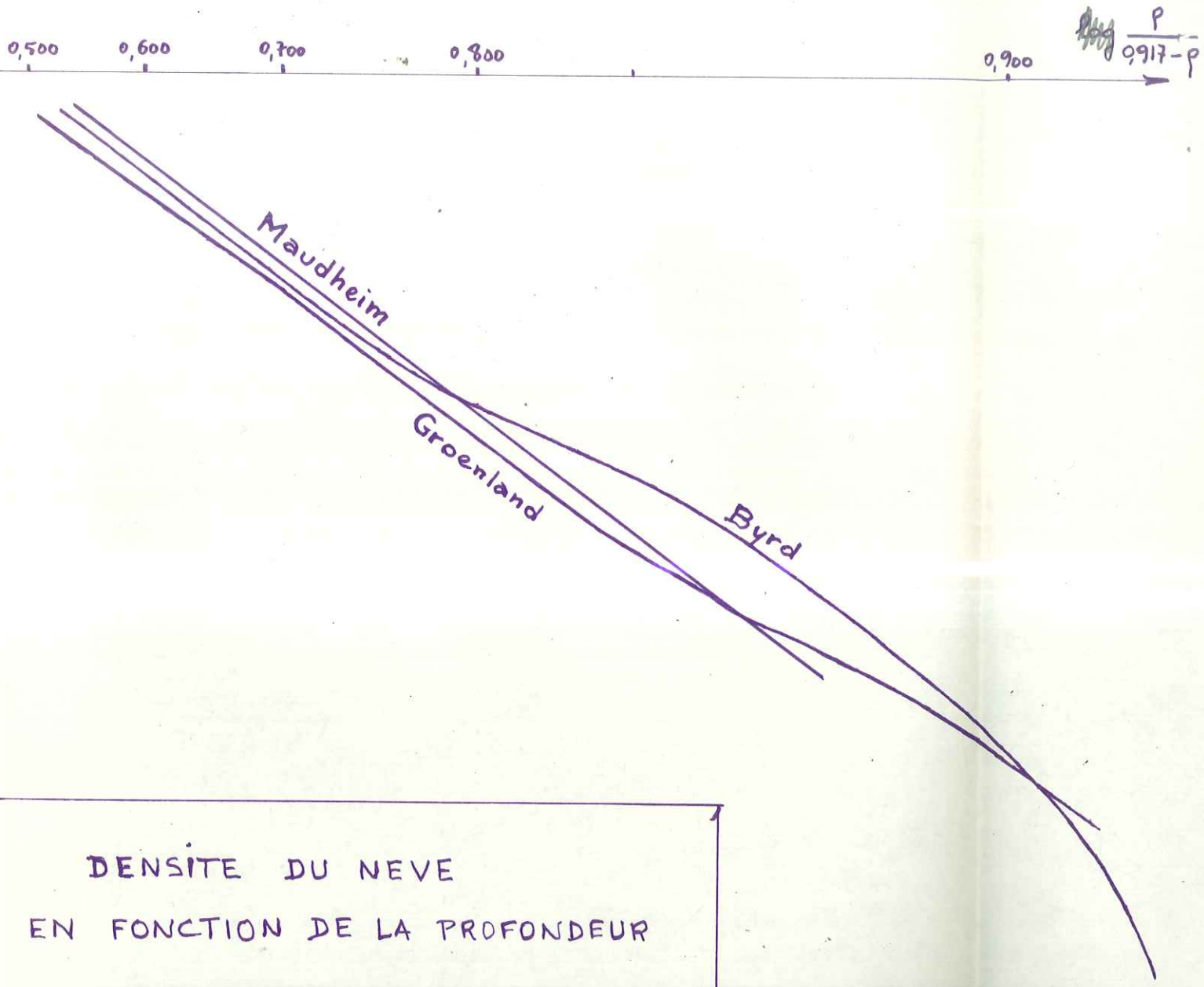
- à l'Arctique canadien et au Groenland (courbe 1)
- à l'Antarctique (courbe 2)
- aux types tempérés (courbe 3)
- aux types intermédiaires (courbe 4)

Sur la figure 3 sont portés deux profils de densité mesurés dans l'Antarctique (à Maudheim d'aprés Schytt et dans la Terre Marie Byrd d'aprés Bender et Gow) et un mesuré au Groenland (d'après Langway). Nous avons porté en abcisse, avec Shytt, non pas , mais _____ (en appelant la densité de la glace compacte) et adopté une echelle logarithmique. Les extrémités inférieures des courbes, pour voisin de sont peu précises. Même en l'absence de bulles d'air , cette densité peut s'abaisser plus ou moins en dessous de la valeur théorique (0,9168) suivant la perfection du réseau cristallin.

Différentes lois de variation de la densité du névé en fonction de la profondeur , determinées empiriquement pour la plupart, ont été énoncées. plusieurs d'entre elles sont citées dans les pages qui suivent.

Nous prendrons :

- z : pronfondeur.
- ρ : densité.
- ρ_0 : densité initiale de la neige .
- ρ_g : densité maximum ; soit celle de la glace que nous prendrons égale à 0,917 (valeur 0,91670, citée par Shumskiy) (5).



DENSITE DU NEVE
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

Fig. 3

* v : volume spécifique : $\frac{1}{\rho}$
* v_o : volume spécifique initial de la neige : $\frac{1}{\rho_o}$
* v_g : volume spécifique de la glace : $\frac{1}{\rho_g} = 1,09$

1) LOI DE SORGE

Les profils adoucis relatifs au Groenland étant trés voisins , Sorge déduit la loi suivante : tant qu'il n'y a aucune fonte , le profil de densité estvindépendant de la précipitation.

Il donne :

$$\boxed{\rho = a + bz + cz^2 + dz^3 + ez^4}$$

avec si z est en mètres : $a = + 0,33800$
: $b = + 0,01958$
: $c = + 2,02274 \cdot 10^{-3}$
: $d = -3,29092 \cdot 10^{-4}$
: $e = + 1,15327 \cdot 10^{-5}$

2) LOI DE BENSON

Benson admet que lorsque le névé s'enfonce de dz,la fraction d'air qui en est éliminée est proportionnelle à l'augmentation de compression d . Il donne la relation:

$$\frac{dv}{v - 1,09} = -0,043\, d\sigma$$

$$\frac{\rho}{0,917 - \rho} = \frac{1,09}{v - 1,09}$$ est alors fonction exponentielle de σ

La relation entre z et v,en remplacant $d\sigma$ par $\frac{dz}{dv}$ est alors:

$$\frac{v\,dv}{v - 1{,}09} = -\,0{,}043\,dz$$

3) LOI DE SCHYTT

Schytt admet que $\frac{\rho}{0{,}917 - \rho}$ est fonction exponentielle non plus de σ mais de z.

Si z est en mètres et σ en mètres d'eau :

$$\rho = \frac{1}{v} = \frac{d\sigma}{dz}$$

$$\frac{\rho}{0{,}917-} = \frac{1{,}09}{v - 1{,}09} = \frac{1{,}09}{V_o - 1{,}09}\,e^{0{,}031\,z}$$

Soit :

$$\boxed{\frac{dv}{v - 1{,}09} = -\,0{,}031\,dz}$$

Le premier membre représente la fraction d'air éliminée du névé lorsqu'il s'enfonce de dz.

4) LOI DE SHUMSKIY

Shumskiy donne la re la tion empirique suivante entre z et

$$\boxed{z = k\rho^n + C}$$

k , C et n dé pendent de la densité initiale, de la structure, de la température et de l'augmentation de pression.

5) LOI DE VOELLMY

On ne peut pas chercher une loi de compression unique pour le névé , d'où l'air peut s'éliminer, et pour la glace bulleuse.

Voellmy en appliquant la loi des gaz parfaits avec des bulles d'air emprisonnées dans la glace (6) ,nous conduit à :

$$\boxed{\frac{dv}{v - 1{,}09} = \frac{-d\sigma}{\sigma}}$$

Nous voyons que dans les quatre dernières lois , la densité à une profondeur z est fonction du volume spécifique v_o.

Le succès de la loi de Sorgeevient de ce que dans ces régions arctiques le vent violent compacte toujours la neige en surface et lui donne la même densité à quelques % près.

BIBLIOGRAPHIE
****

(1) Journal of Glaciology; Vol. 3 - nº 25 - p. 428

(2) Journal of Glaciology. Vol. 2 - p. 322 et Shumskiy :

" Principes de Glaciologie Structurale "

(3) Journal of Glaciology. Vol. 3 - nº 25 - p. 217

(4) Journal of Glaciology. Vol. 3- nº 25 - P. 426 à 431

(5)Journal of Glaciology. Vol. 3-nº 27 - p. 569

(6) A. Voellmy : Über die Zerstörungskraft von Lawinen.

Schweizerische Bauzeitung (1955)

Je tiens à témoigner toute ma gratitude à Monsieur le Professeur L.Lliboutry pour m'avoir confié ce travail et guidé dans sa réalisation.