



**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.

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 Examineurs

Date de soutenance: 3 Juillet 1962

UNIVERSITÉ DE GRENOBLE 1  
INSTITUT DE GÉOLOGIE  
DOCUMENTATION  
15, RUE MAURICE GROMBEX  
F 38031 GRENOBLE CEDEX  
TÉL. (33) 76 63 63 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 groupés 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. QUADRILATÈRE DE BASE A B C D

Quatre piliers ont été érigés sur la roche en place, situés de façon à viser le maximum 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 Lacheval
- 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 centrage étant effectué par trois rainures radiales à 120°. 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° en 50° a donné :

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

soit après réduction au niveau de la mer :

$$\begin{aligned} ( B_0 &= B+c \\ c &= \frac{B \cdot Hm}{R} \end{aligned}$$

avec :

- c : correction
- B : distance non corrigée
- Hm : altitude moyenne
- R : 6 400 km

$\log A B = 1,895940$

$A B = 78,693 \text{ mètres.}$

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 Géophysique National, lequel a 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'ordonnée 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	
D C	234,7062	34,7090

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 en visant le maximum de points géodésiques.

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

Nivellement du quadrilatère:

Alors que les cotes relatives sont déterminées à 4 cm près, 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 près 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 lignes :
- 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'épaisseur 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.



### 3. TRIANGULATION DES BALISES

---

En 1960 les positions successives 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  $1/10000^{\circ}$  de grade) furent abandonnés au profit de KERN DKM1 (donnant le  $1/1000^{\circ}$  de grade). Les visées au  $1/10\ 000^{\circ}$  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 définitive.

Nous trouverons ci après trois chapitres concernant respectivement :

- 10/ Les vitesses horizontales des balises
- 20/ Les vitesses verticales
- 30/ Les altitudes du glacier dans la région des balises.

X

1) Vitesses horizontales des balises.

Un relevé au 1/1000 du plateau supérieure 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 décimales 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 :

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

Le déplacement des balises pendant ces périodes  $\Delta t$  à amené une variation des angles de visée qui, en moyenne était de  $0,150^\circ$  (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  $\Delta\theta^\circ$  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 100,0000 grades cercle à gauche sur D
- pour les stations C et D : visée 0,0000 grade cercle à gauche sur A

- Les valeurs  $\Delta t$  de la colonne 3 sont :

- 1 = 21,865 jours
- 2 = 21,771 "
- 3 = 22,040 "
- 4 = 22,021 "
- 5 = 75 "
- 6 = 74 "

2	3	4	5	6	7	8	9
Station	$\Delta t$ (jours)	$\theta$ 1 $\theta$ 2 $\theta$ 3	$\Delta \theta$ (grades en $\Delta t$ jours)	$\Delta \theta$ (grades par an)	$\Delta \theta$ (radians par an)	Distance m (mètres)	m. $\Delta \theta$ (mètres par an)
A	I	52,0839	0,0086	0,13224	0,002676	703	1,459
	5	52,0925	0,1269	0,657	0,010315		7,251
		52,2294					
C	3	38,5633	0,0190	0,30984	0,0048644	1106	5,3800
	6	38,5823	0,0547	0,266	0,0041762		4,62
		38,637					
D	4	30,5609	0,0030	0,05520	0,0008666	1042	0,9030
	6	30,5639					
		32,490					
A	I	58,7318	0,0687	1,1304	0,0177473	674	11,961
	5	58,8005	0,3119	1,532	0,0240524		16,211
		59,1124					
C	3	37,2468	0,0315	0,5136	0,0080635	1032	8,32
	6	37,2783	0,0957	0,466	0,0073162		7,550
		37,374					
D	4	27,1204	-0,0022	-0,0356	-0,000559	988	-0,5523
	6	27,1182	-0,0092	-0,0448	-0,0007034		-0,695
		27,109					

I	2	3	4	5	6	7	8	9
3	A	I 5	65,6043 65,7483 66,2714	0,1440 0,5230	2,3712 2,5100	0,037227 0,039407	650	24,197 25,614
	C	3 6	35,5322 35,5858 35,772	0,0536 0,1862	0,8772 0,907	0,0137720 0,01424	962	13,249 13,70
	D	4 6	<del>23,2315</del> 23,2141 23,182	-0,0174 -0,0321	-0,2844 -0,1562	-0,004465 -0,002452	942	-4,206 -2,31
4	A	I 5	70,1408 70,2895 70,7676	0,1487 0,4781	2,4480 2,296	0,038434 0,036047	574	22,061 20,69
	C	3 6	29,9331 29,9895 30,1980	0,0564 0,2085	0,9204 1,015	0,014450 0,015935	934	13,496 14,883
	D	4 6	17,4849 17,4723 17,4550	-0,0126 -0,0173	-0,2100 -0,0842	-0,003297 -0,0013219	960	-3,165 -1,269
15	A	I 5	64,4167 64,5673 65,1006	0,1506 0,5323	2,4384 2,615	0,038283 0,041055	560	<del>21,438</del> 22,991
	C	3 6	29,7095 29,7412 29,8440	0,0317 0,1028	0,5172 0,5	0,008120 0,00785	988	8,022 7,755
	D	4 6	19,0635 19,0380 18,9730	-0,0255 -0,0650	-0,4164 -0,3164	-0,006537 -0,004967	1008	<del>6</del> -6,589 -5,00

I	2	3	4	5	6	7	8	9
5	(disparue)							
	A	I	8I,0630 8I,I870	00,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	<del>0,00032</del>	-0,04944	-0,0007762	998	-0,774
	A	I	I00,3558 I00,3579	0,002I	0,03456	0,0005426	454	0,246
	A	5	I00,I8I7	-0,I702	-0,8I69	-0,0I2825		-5,823
8	B	2 5	92,9448 92,9369 92,6370	-00079 -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	-0,0IIO	-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

33,741

632 18,943

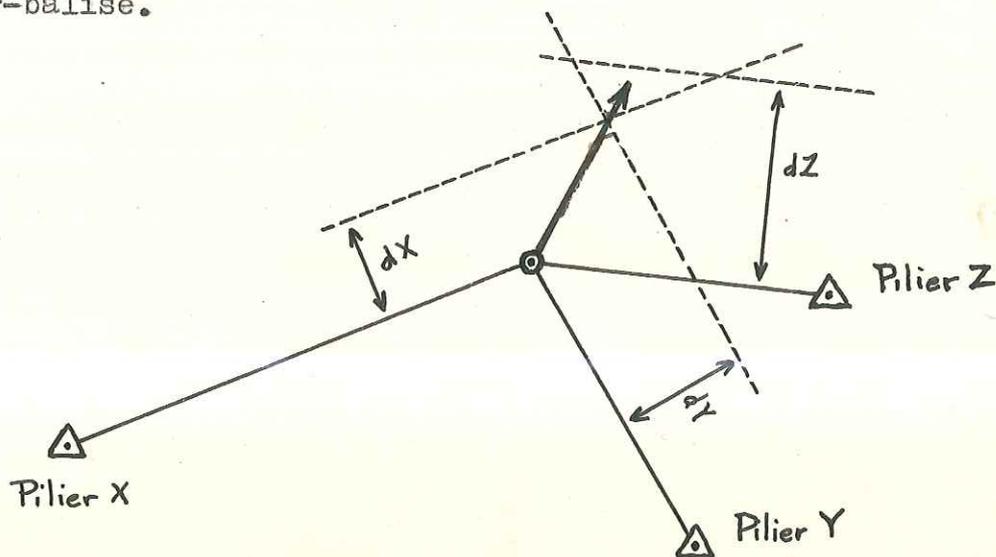
	2	3	4	5	6	7	8	9
	A	I	III,8205 III,6978	-0,1227	-2,0184	-0,031689	702	-22,246
I2	B	2	I08,0788 I07,9388	-0,1400	-2,3160	-0,036361	696	-25,307
	D	4	389,2415 389,3340	0,0925	I,5108	0,023719	760	I8,026
	A	I	I09,0743 I08,9583 I06,5486	-0,1160 -2,4097	-I,9104 -II,57	-0,02999 -0,18165	772 770	-23,155 -I40,2
I3	B	2 5	I06,0408 I05,9124 I05,2090	-0,1284 -0,7034	-2,1276 -3,464	-0,033403 -0,054385	770 770	-25,72 -41,87
	D	4 6	389,7222 389,8335 390,2360	0,1113 0,4025	I,8180 I,96	0,02854 0,03077	682 682	I9,466 20,98
	A	I	II4,1710 II4,0625	-0,1085	-I,7844	-0,028015	766	<del>XX</del> 2,46
bis	B	2	III,0925 II0,9682	-0,1243	-2,0604	-0,032346	757	-24,487
	D	4	384,7436 384,8358	0,0922	I,5048	0,023625	712	I6,82
	A	I	I09,0229 I08,9853	-0,0376	-0,6192	-0,009721	826	-8,03
	B	2	I06,4717 I06,3528	-0,1189	-I,9668	-0,0030879	822	-25,382
4	C	3	25,1912 25,4842	0,2930	4,7760	0,07498	450	33,742
	D	4	388,1258 388,2427	0,1169	I,9092	0,02997	632	I8,943

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	A	I 5	109,6229 109,5327 III,1658	- 0,0902 (erroneé)	- 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
~~~~~~								
	A	I	II0,6599 II0,589I	-0,0708	- 0,0664	0,0I83I	959	- I7,56I
I6	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
~~~~~~								

I	2	3	4	5	6	7	8	9
I7 bis	A	I 5	II2,743I	- 0,0594	-0,9780	-0,0I5355	IOI7	- I5,6I6
			II2,6837					- 0,2685
	C	3 6	36,6924	0,2985	4,884	0,07668	257	I9,707
36,9909			I,0080	4,9I	0,07709	I9,8I		
D	4 6	374,II53	0,0677	I,I052	0,0I735	496	8,605	
		374,I830	0,2430	I,I8I	0,0I8542		9,I9	
I8	C	3 6	60,4972	0,25II	4,I0I6	0,06440	249	I6,036
			60,7483					0,83I7
D	4 6	372,8080	0,0200	0,3266	0,005I27	402	2,06I	
		372,8280	0,I020	0,4965	0,007795		3,I3	
I9	C	3 6	45,4007	0,3429	5,076	0,0797	I33	I0,600
			45,7436					I,2534
D	4 6	357,7358	-0,0206	-0,3363	-0,00528	47I	- 2,487	
		357,7I52	-0,0572	-0,278	-0,004364		- 2,06	

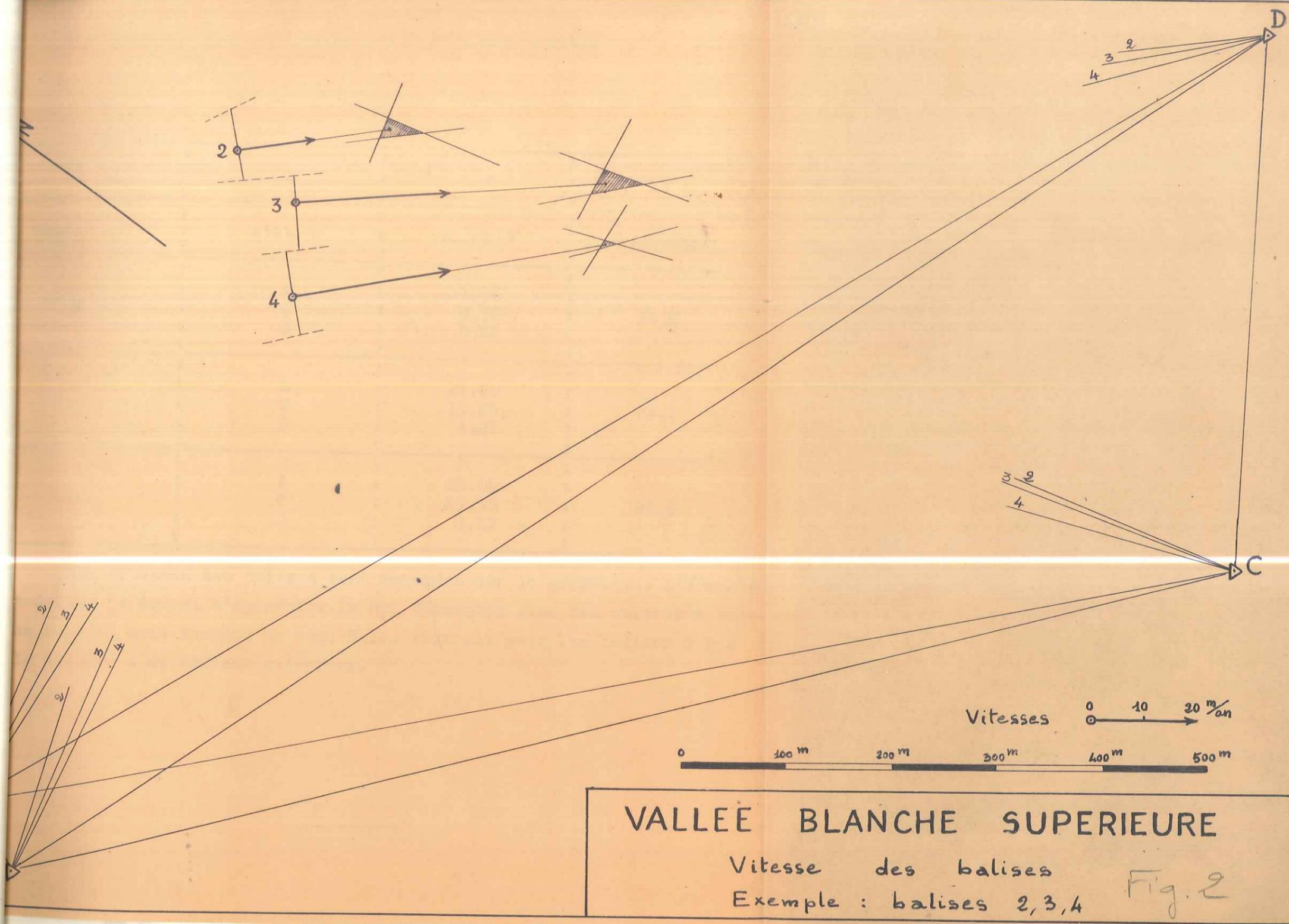
Pour la résolution graphique de la vitesse annuelle de la balise, le procédé était le suivant :

- 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 colonne 3 du tableau suivant):

L'intersection de ces trois  
 lignes de la balise. Dans notre cas  
 par ces intersections étaient assez  
 proches et le changement de balise qu'il  
 faut multiplier avec considérablement  
 (figure annexe 2 pour balises 2, 3, 4)  
 ont les valeurs indiquées dans la  
 suivante :



**VALLEE BLANCHE SUPERIEURE**  
 Vitesse des balises  
 Exemple : balises 2, 3, 4 *Fig. 2*

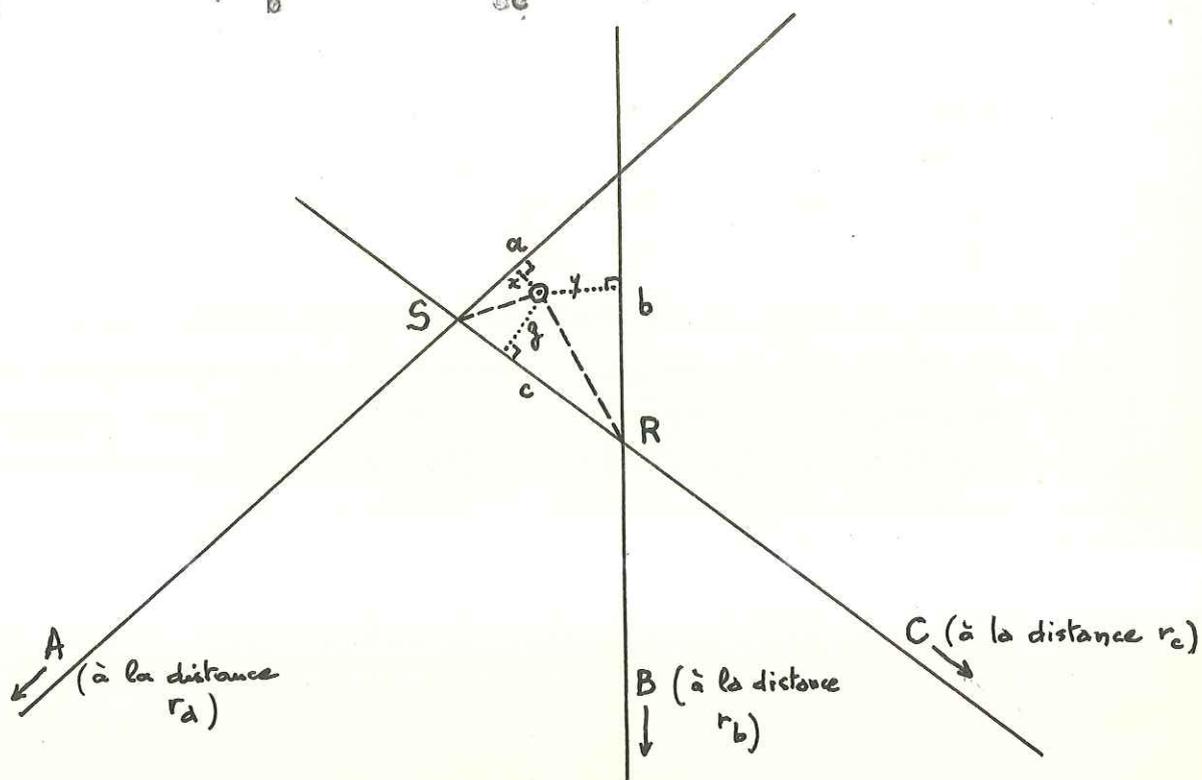
1	2	3	4
balises	station	m. $\Delta \theta$	vitesses
2	A	11,96	14,5
	C	8,32	
	D	0,55	
3	A	24,20	29,1
	C	13,25	
	D	4,21	
4	A	22,06	29,9
	C	13,50	
	D	3,17	

Les vitesses des balises sont mesurées sur le graphique. L'échelle est de 1 cm pour 100 m et d'apprécier le cm. Néanmoins pour les calculs à suivre ces valeurs sont données au dcm. Elles figurent pour les balises 2 3 4 dans 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")

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



On trace les deux droites (en tirets)

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

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

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



TABLEAU RECAPITULATIF DES VITESSES HORIZONTALES

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

balise n°	vitesses	balise n°	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"	8,5	bal. "portique inf."	26,4
- "tacul"	8,4		

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

1 <sup>e</sup>	36	bal. "strati"	6,8
2 <sup>e</sup>	23,2	5 <sup>e</sup>	26
3 <sup>e</sup>	29,4	6 <sup>e</sup>	18
4 <sup>e</sup>	38		



# VALLEE BLANCHE SUPERIEURE Relevés 1960

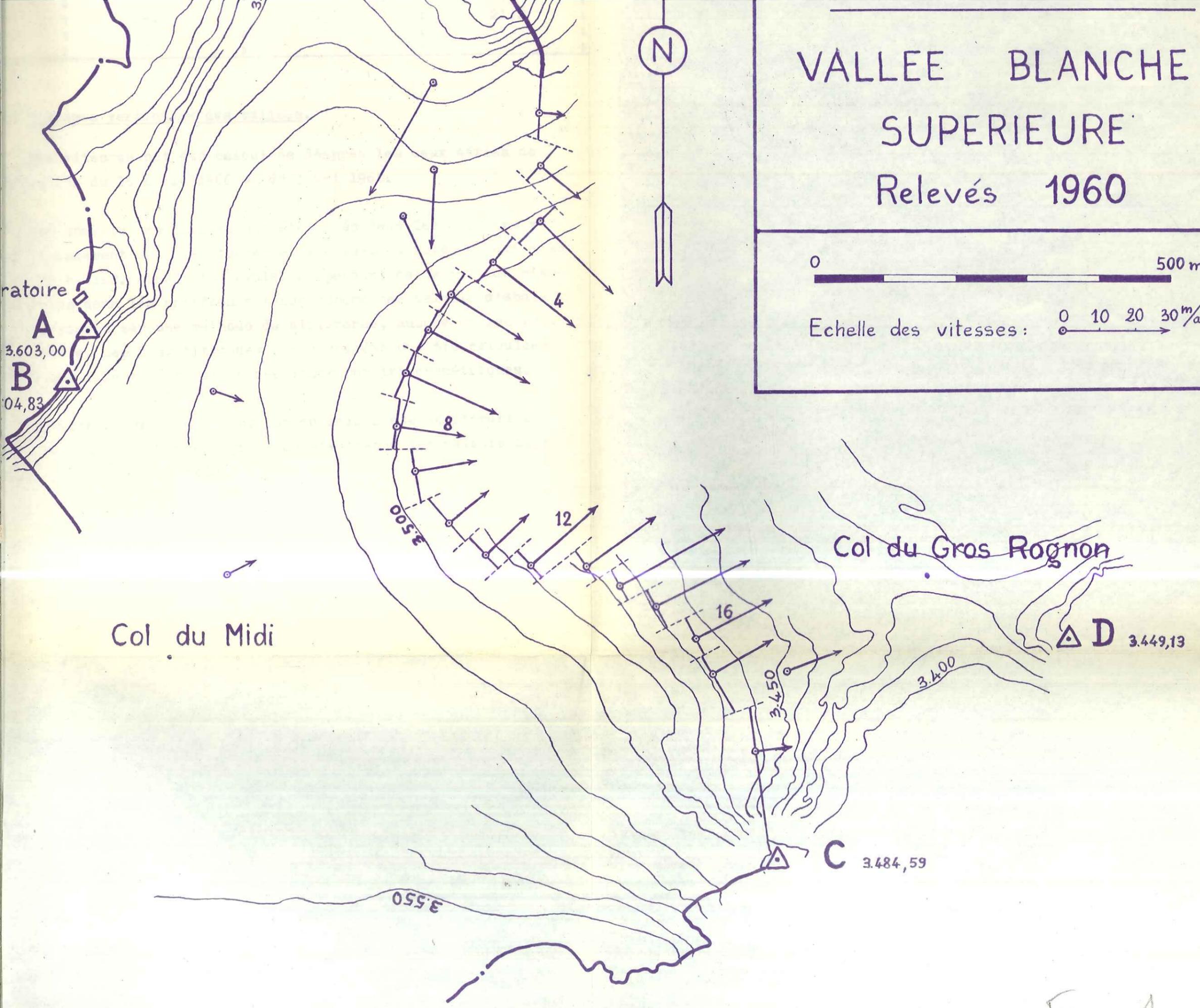
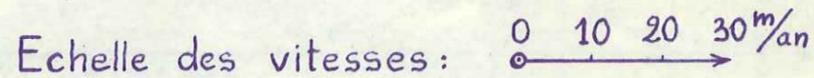


Fig. 1

, Balises 1961

A <sub>5</sub> "	:	19,6	:	A <sub>8</sub> "	:	19,3	:
A <sub>6</sub> "	:	19,4	:	B <sub>2</sub> "	:	20	:
A <sub>7</sub> "	:	19,2	:	B <sub>3</sub> "	:	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 par rapport aux décades précédentes. Ces altitudes sont établies d'après 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 plaque aux tourillons et de hauteur de la balise est faite colonne 8. du tableau ci-dessous.

Enfin la correction de niveau apparent +  $q^{D^2}$  (colonne 8 du tableau) est effectuée avec les valeurs de la table donnant  $q^{D^2}$  en fonction de la distance, tirée du livre "Triangulation Cadastrale" Jean Gabet, page 234.

Les valeurs obtenues pour une même balise depuis plusieurs piliers diffèrent 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 no Station	distance 1-2 (m. mètres)	$\alpha$ (grades)	cotg. $\alpha$	différence d'alt.: h $h = m \cdot \cotg. \alpha$	altitude du sommet de bal. non corrigée: $A_7$	correction : $A_7 - (h_{bal} + h_{théo})$ $+ q^{D^2}$	altitude du névé	poids de la mesure	ALTITUDE ADOPTÉE	
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	0,152860	-85,52	3517,48	-118	3516,30	1	3516,25
	D <sub>1</sub>	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	88,1020	0,189100	-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	10	11
A	639,8	89,1666	0,171834	-109,93	3493,07	-117	3491,90	2	
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	
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	
B	770,0	89,7670	0,162140	-124,84	3480,00	-116	3478,84	1	3478,92
D	682,3	97,1093	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	
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	
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	
D	575,0	97,6178	0,037437	21,52	3470,65	-118	3469,47	1	3469,39
A	959	90,8983	0,14395	-138,04	3464,96	-114	3463,82	1	
D	518	98,0326	0,030914	16,01	3465,14	-118	3463,96	1	3463,89

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	0,136150	-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 zone 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 tout les 30 mètres sur les lignes de tirs A et B. Les altitudes des balises de 1961 A<sub>1</sub>" à A<sub>25</sub>" et B<sub>1</sub>" à B<sub>13</sub>" 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 - 0,69 m., la moyenne s'établissant à + 0,16 m., c'est-à-dire à 1/20<sup>e</sup> de l'accumulation annuelle.

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

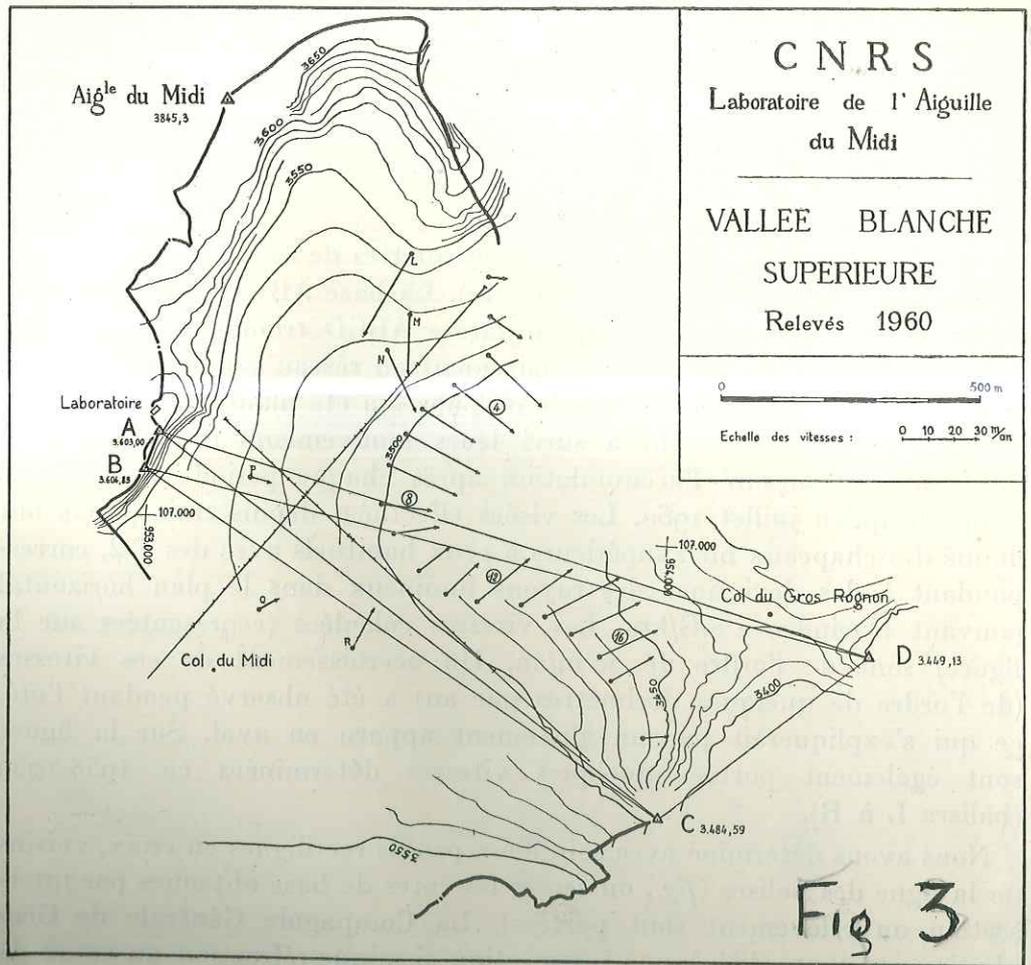


Fig 3

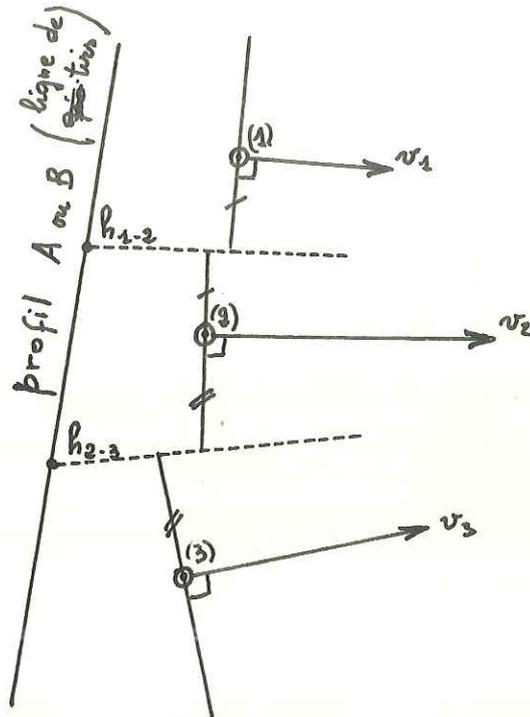
#### 4. EPAISSEUR DE GLACE. PROFIL TRANSVERSAL DU GLACIER.

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, Maître et moi.

Les trépis 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 :  $0,53 \pm 0,02$  dans la neige de l'hiver ;  $0,67 \pm 0,05$  dans le névé) est de 165 mètres  $\pm 5$  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  $195,3 \times 10^3 \text{ m}^2$ .



## 5. DÉBIT 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 précédemment.

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 :

soit  $e$ ,  $u = u_0 - az^4$  l'épaisseur de glace :

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

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

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

$$\bar{u} = 0 \text{ pour } z = e \text{ donc } a = \frac{u_0}{e^4}$$

$$\begin{aligned} \bar{u} &= u_0 - \frac{1}{e} \frac{u_0}{e^4} \frac{e^5}{5} \\ &= u_0 - \frac{u_0}{5} \\ &= \frac{4}{5} u_0 \end{aligned}$$

### Débit :

Le débit annuel a été trouvé de  $3.502 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{an.}$

L'imprecisions de cette mesure est attribuée :

- 1° : aux imprécisions sur l'épaisseur du glacier établie à 5 mètres près, soit à 3% près.
  - 2° : aux imprecisions sur les vitesses horizontales estimées à 1% près.
  - 3° : 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  $0,99 \text{ km}^2$ . La surface du bassin-versant au-dessus des balises est  $1,14 \text{ km}^2$  à 2% près.

- surface par défaut :  $1,122 \text{ km}^2$
- surface par excès :  $1,122 + (0,05 \times 0,7) = 1,157 \text{ km}^2$

(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  $u_0$ , on peut calculer l'épaisseur du glacier et comparer les résultats avec les données de la campagne sismique.

1° Vitesse superficielle  $u_0$

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  $u_0 = 1/4$  mètres par an.

2° 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.

3° Rayon hydraulique  $e$  de la section droite du glacier

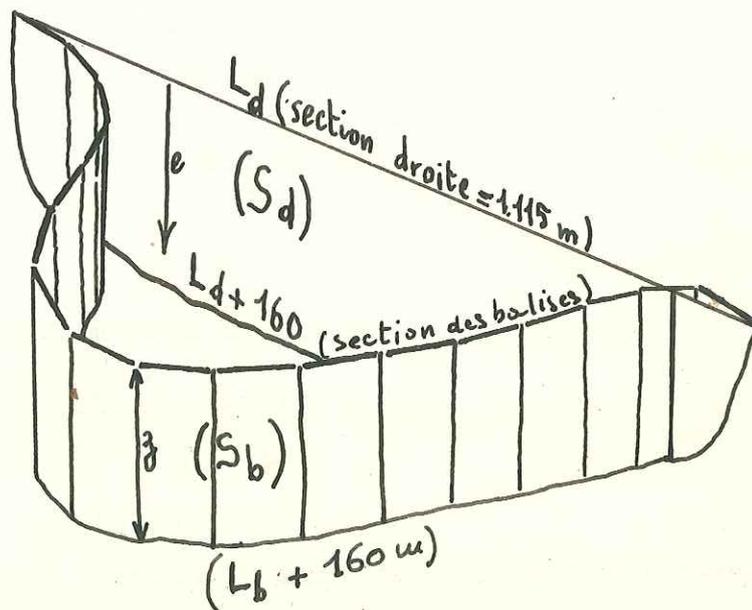
Le long de la section des géophones, le contour du glacier

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) = 17°
- rive droite du glacier (balise I9) = 9°

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

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

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

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

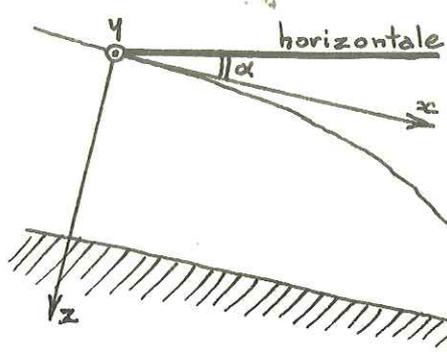
$$S_b = z = 165 \text{ mètres de glace}$$

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

#### 4°) Tensions de cisaillement

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) en surface

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

$$v_x = 14 \text{ m/an} =$$

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

En prenant les vitesses de la balise "puits" (8,5 m/an) et de la balise 8 (19,6 m/an) 260 mètres plus en aval :

$$\dot{\epsilon}_x = \frac{19,6 - 8,5}{260} = 0,045$$

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

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

Si on adopte la loi donnée par Meier:

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

$$= 0,77 \text{ bar.}$$

b) contre le lit

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

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

$$= 1,24 \text{ bar}$$

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

On admet que la glace obéit à une loi :

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

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

$\tau$  = 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 :

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

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

$$\begin{aligned}
 e &= \frac{13,7}{\sin \alpha} (u_0 \sin \alpha)^{\frac{1}{4}} \\
 &= \frac{13,7}{0,100} \times 1,09 \\
 &= 149 \text{ mètres}
 \end{aligned}$$

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, après la chute de près 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'accès que présente cette zone.

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

- sur le glacier du Géant vers l'altitude 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 pour la base MR à la stadia. La mesure de MR (moyenne de 12 lectures) a donné après réduction au niveau de la mer

$$\log MR = 1,989460$$

$$MR = 97,609 \text{ mètres}$$

Les triangles PMR et MRU ont été déterminés par visées réciproques avec une erreur de fermeture de  $- 0^{\circ}, 021$  pour PMR et de  $- 0^{\circ}, 0007$  pour MRU. Les calculs des coordonnées 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	108 670,3	2 522,0
R	956 366,3	108 612,I	2 485,9
M			2 490,0
U	957 376,0	108 342,5	2 481,I

## 2. IMPLANTATION et TRIANGULATION DES BALISES 1-8..VITESSES u<sub>o</sub>

Du 8 au 20 juillet 1960, 8 balises d'ablation analogues à celles utilisées par les Expéditions Polaires Françaises au Gröenland ont été implantées avec la sonde Kasser dans l'axe du glacier, depuis le niveau de la salle-à-manger jusqu'à proximité de la courbe 2.250 (en 1960). Ces balises d'un diamètre de 30 millimètres, hautes de 8 mètres sont articulées par tronçons de 2 mètres 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 120 mètres. Leur disposition par rapport aux chevrons du glacier sont :

Déplacement des Séracs entre le 13 avril et le 20 juillet 60  
et vitesse annuelle correspondante (en mètres)

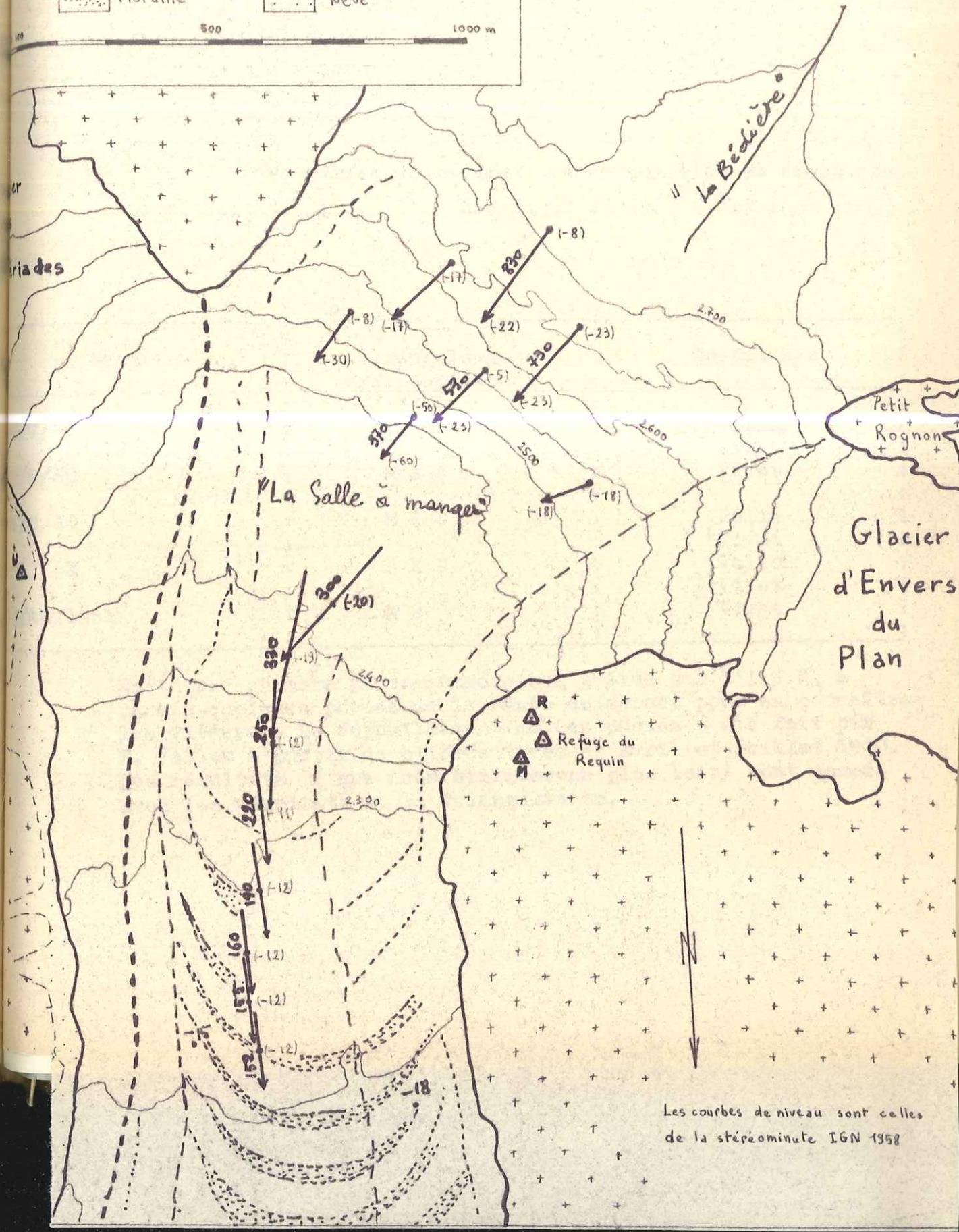
Vitesse annuelle des balises d'ablation (en m.)

Baisse de niveau entre 1958 et 1960

	Rocher		Glacier
	Moraine		Névé



# Glacier du Géant



Les courbes de niveau sont celles de la stéréominute IGN 1958

- : 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 prêtée 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 1960 par M.VALLON qui a travaillé pour le schéma au I/2000<sup>e</sup>. L'échelle des déplacements est le I/100<sup>e</sup>. Les déplacements apparents des balises depuis chaque station n'ont pas été ramenés à l'année sur le schéma au I/2000<sup>e</sup> 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  $\Delta t$  jours, soit :

- du 20 juillet 1960 au 7 août 1960
- du 7 août 1960 au 26 août 1960

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

balise	vitesse en m/an	balise	vitesse en m/an
1	300	5	190
2	330	6	160
3	250	7	155
4	220	8	152

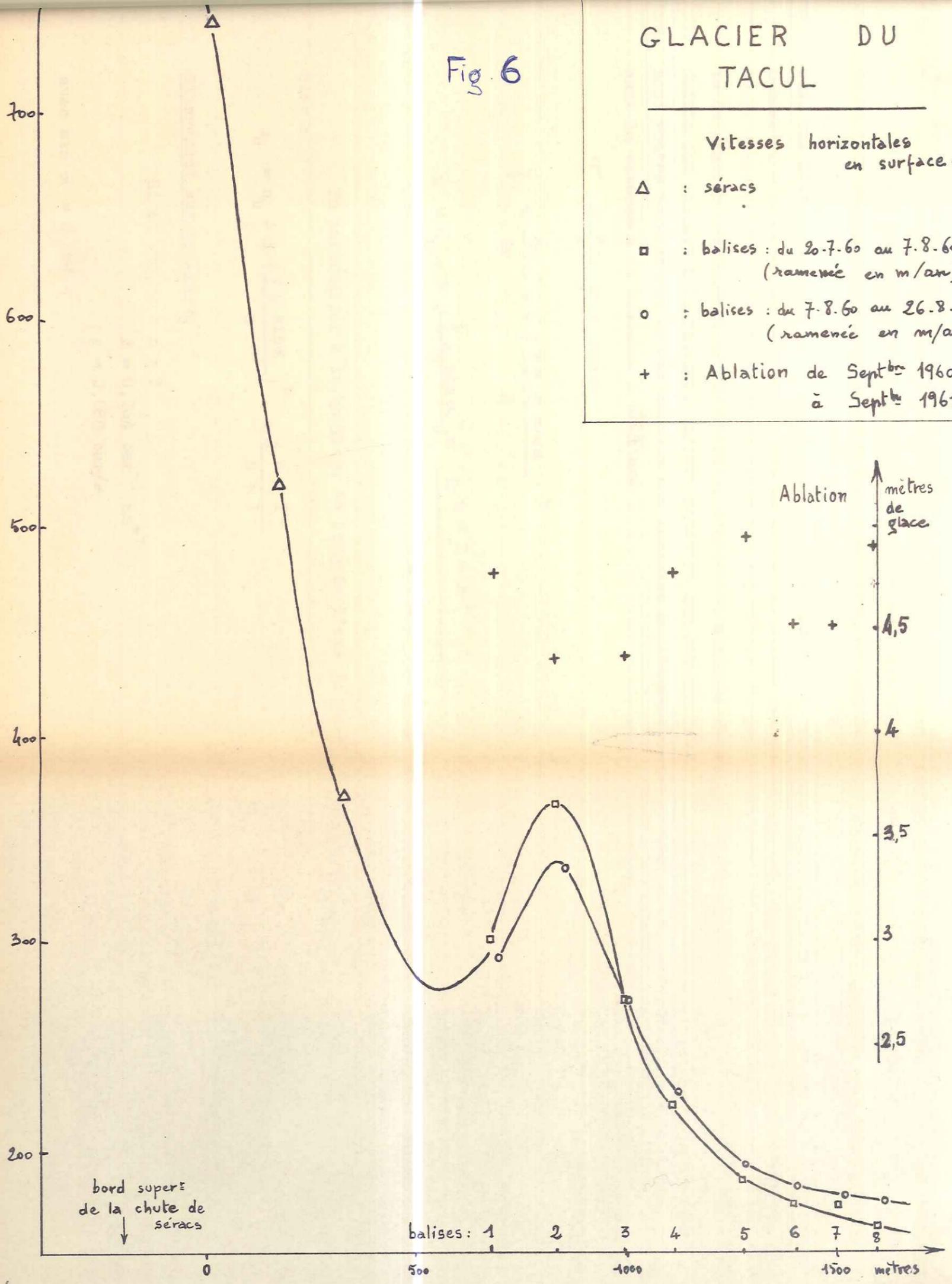
Dans la chute de séracs, les valeurs des vitesses annuelles données par la photogrammétrie sont :

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.



1	550
2	520
3	480
4	400

Les vitesses horizontales en surface sont mesurées à l'aide de séracs et de balises. Les séracs sont des poteaux en bois qui sont plantés dans le glacier et qui permettent de mesurer le déplacement de la glace. Les balises sont des poteaux en bois qui sont plantés dans le glacier et qui permettent de mesurer l'ablation de la glace.

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 = 109.600 (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

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

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

$$u = u_b + B \left( \frac{\rho g \sin \alpha}{2} \right)^n \frac{R^{n+1} - r^{n+1}}{n+1}$$

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

$$u_0 = u_b + B \left( \frac{\rho g \sin \alpha}{2} \right)^n \frac{R^{n+1}}{n+1}$$

Glissement sur le lit  $u_b$

Si on adopte :  $n = 3$

$$B = 0,164 \text{ bar}^{-3} \text{ an}^{\pm 1}$$

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

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

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

avec R = 400 mètres =

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

en prenant comme vitesse superficielle  $u_0 = 145 \text{ m/an} =$

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

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

$$\bar{u} = \frac{(n+1) u_0 + 2 u_b}{n+3}$$

Flux  $\phi$

$$\begin{aligned} \phi &= 130 \times \frac{R^2}{2} \\ &= 32,6 \text{ hm}^3/\text{an} \end{aligned}$$

4 - ABLATION

Les résultats déterminés en 1960 et 1961 à partir des balises I - 8 sont consignés dans le tableau ci-dessous :

Balise n°	Altitude (m) le 21.7.60	Ablation (m de glace)		Position par rapport aux chevrons
		1960	1961	
I	2.391	1,44	4,79	bosse
2	2.373	1,54	4,37	envers
3	2.318	1,55	4,38	creux
4	2.299	1,73	4,78	bosse
5	2.283	1,74	4,95	bosse
6	2.271	1,68	4,51	creux
7	2.262	1,82	4,50	envers
8	2.252	1,79	4,90	bosse

L'été 1960 a été absolument exceptionnel, la glace vive n'apparaissant que fin juillet et les premières chutes de neige apparaissant début septembre. Nous retiendrons les valeurs de 1961 année normale et comparablement années 1957-58-59. 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

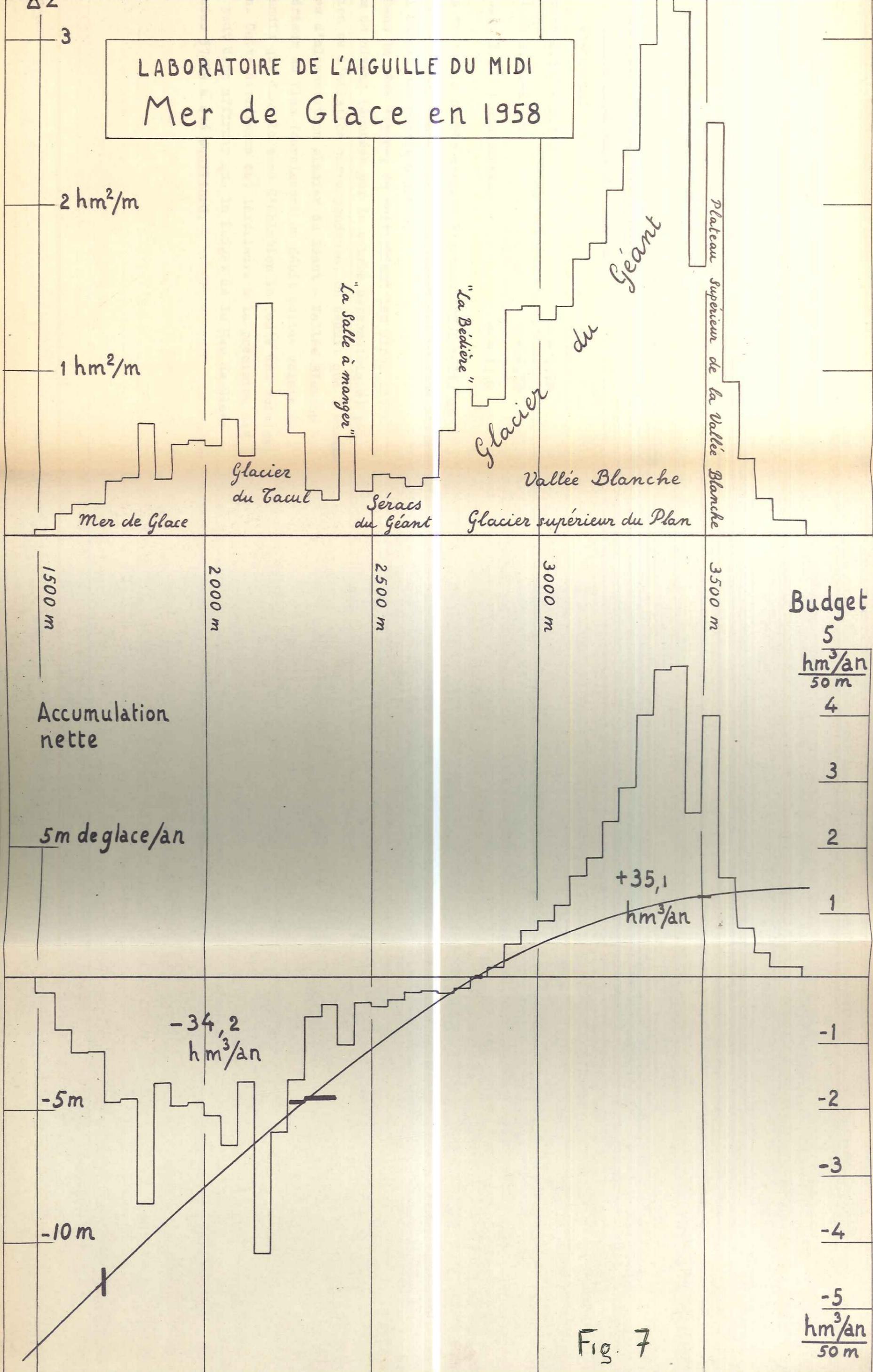
B I L A N      G E N E R A L

de la

M E R    d e    G L A C E



LABORATOIRE DE L'AIGUILLE DU MIDI  
Mer de Glace en 1958



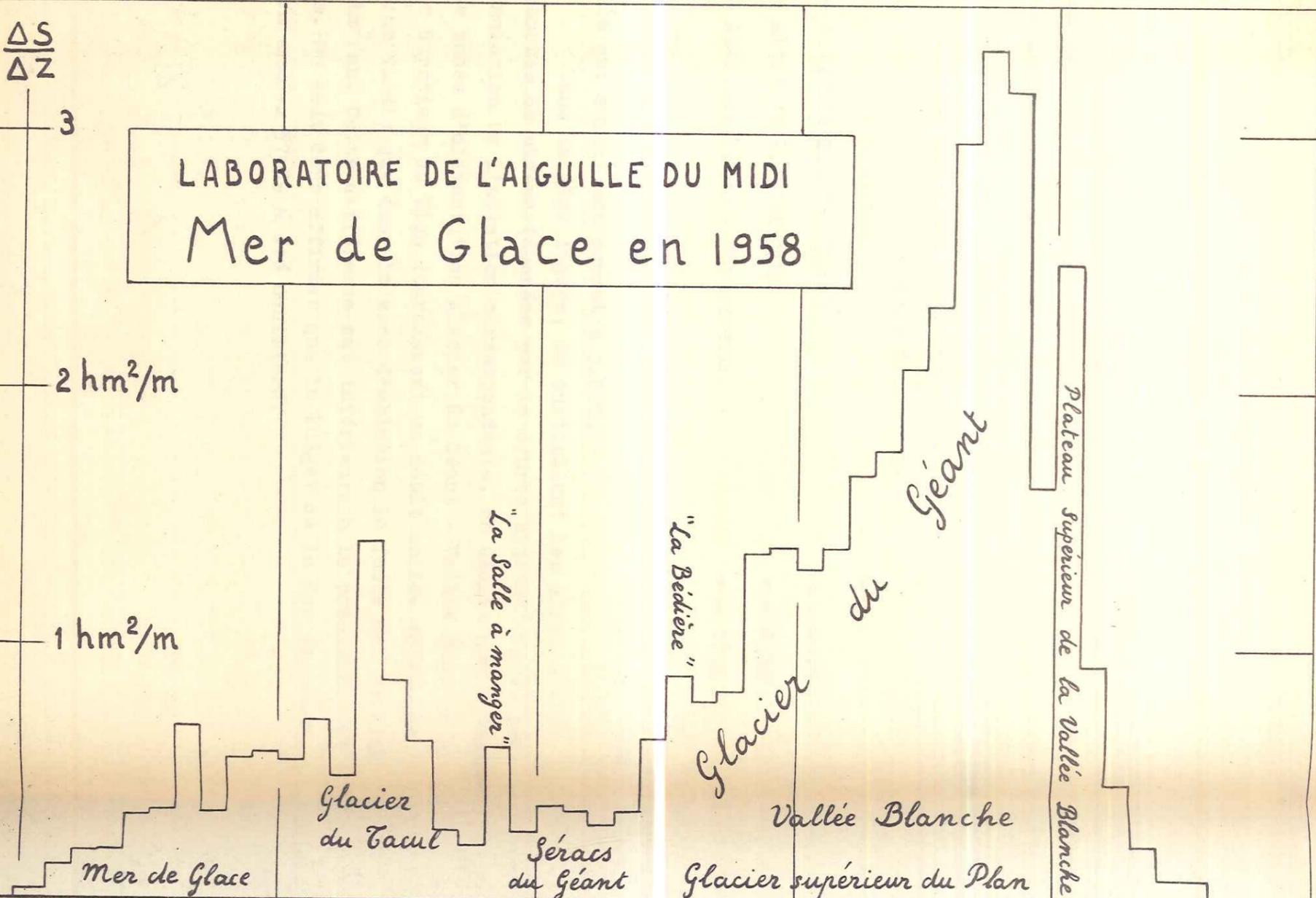
$$\frac{\Delta S}{\Delta Z}$$

3

LABORATOIRE DE L'AIGUILLE DU MIDI  
Mer de Glace en 1958

2 hm<sup>2</sup>/m

1 hm<sup>2</sup>/m



1500 m

2000 m

2500 m

3000 m

3500 m

Accumulation nette

5m de glace/an

Budget  
5  
hm<sup>3</sup>/an  
50 m

4

3

2

1

+35,1  
hm<sup>3</sup>/an

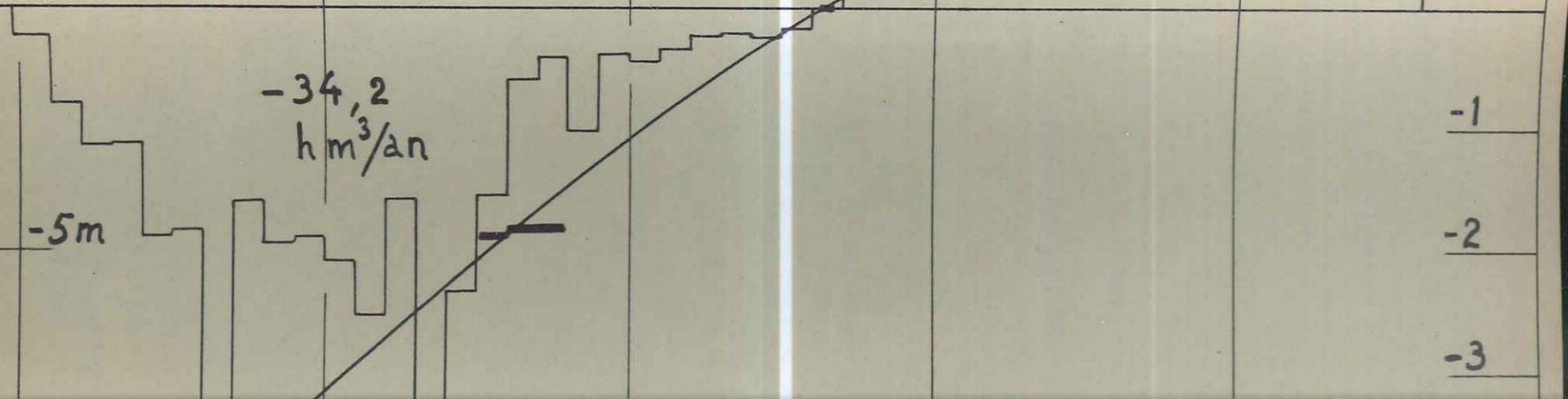
-34,2  
hm<sup>3</sup>/an

-5m

-1

-2

-3



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 1.700 : Montenvers = - 11,5

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  $35 \text{ hm}^3/\text{an}$  tandis que dans la zone d'ablation la fonte est voisine de  $34 \text{ hm}^3/\text{an}$ . 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

---

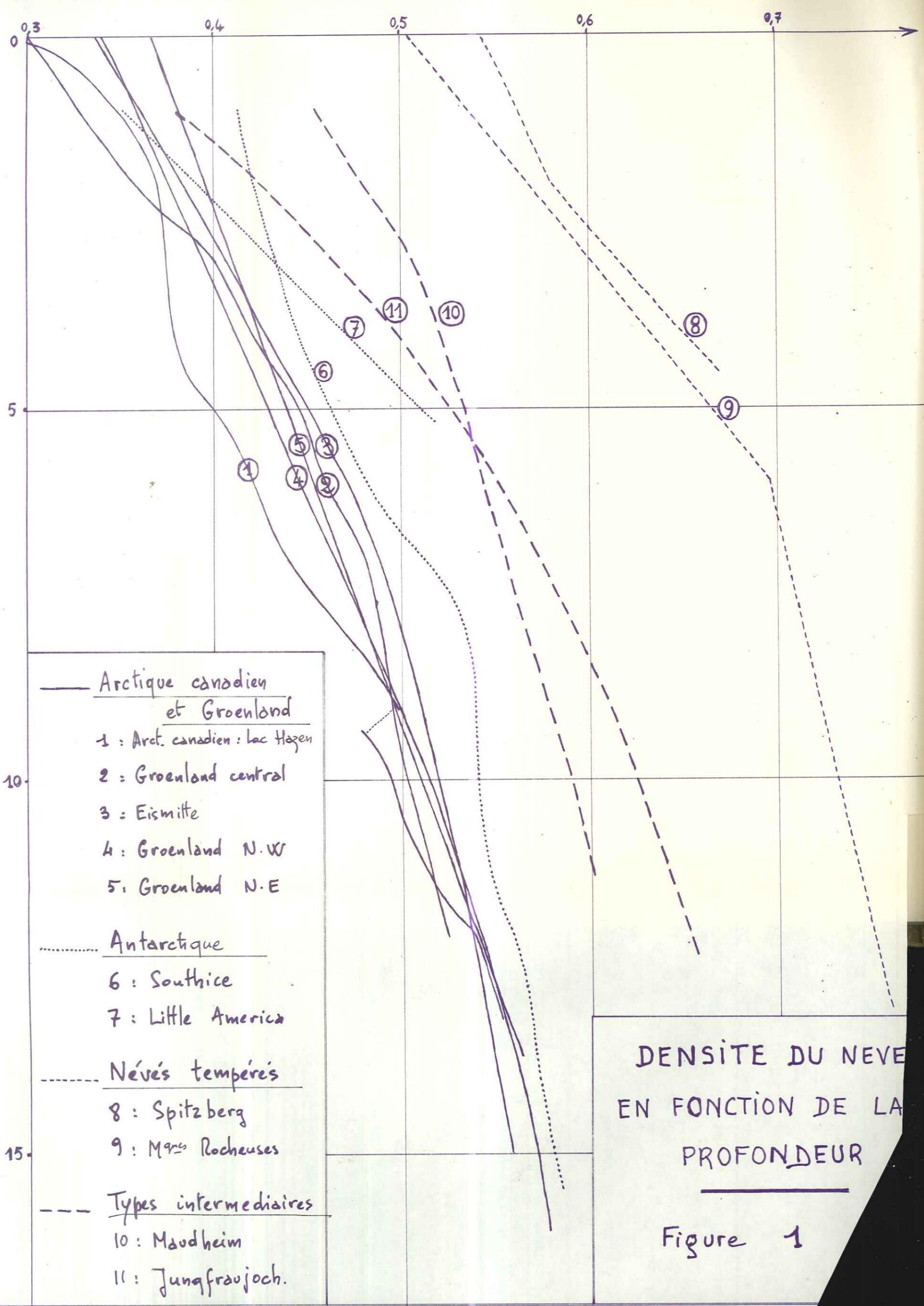
### CONDITIONS INITIALES. NEIGE FRAICHE.

La densité de la neige froide fraîchement 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 Santis-2500 m. d'alt. - sans vent et pour une température de l'air de  $-13^{\circ}\text{C}$ .) à 0,400 environ (neige tombée par vent très fort, densité de la neige d'hiver dans l'Antarctique).

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 à 0,4. L'été 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 obtient souvent une courbe sinueuse avec des fluctuations annuelles marquées. Par la méthode de la moyenne mobile on peut alors adoucir cette courbe et la remplacer par une courbe à pente lentement variable. D'autre fois la dispersion des mesures est telle que cette fluctuation annuelle n'apparaît pas.



DENSITE DU NEVE  
 EN FONCTION DE LA  
 PROFONDEUR

Figure 1

site pou  
 rapporter  
 1<sup>o</sup> à des

2<sup>o</sup> à des

3<sup>o</sup> à de

Ces  
 sont gr  
 canadie  
 à ce qu  
 Comme l  
 profil  
 de 10 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 rapportent:

1° 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)  
Groenland N-E ( Waterhouse et Steaves Chester
- (courbes 1à5)
- Antarctique (Southice 82° S.):Stephenson et Lister (4)  
(Little America) Wade.
- (courbes 6&7)

2° à des névés tempérés:

- Spitzberg (Isachen's Plateau 850m. d'alt.):Ahlmann
- Montagnes Rocheuses(Seward Glacier 1790 m. d'alt):Sharp
- (courbes 8 et 9)

3° à des types intermédiaires:

- Maudheim (côte antarctique 60° S):Schytt
- Jungfrauoch (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 10 à 12 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 cette profondeur, il y a des gradients de température qui entraînent la formation de neige coulante.

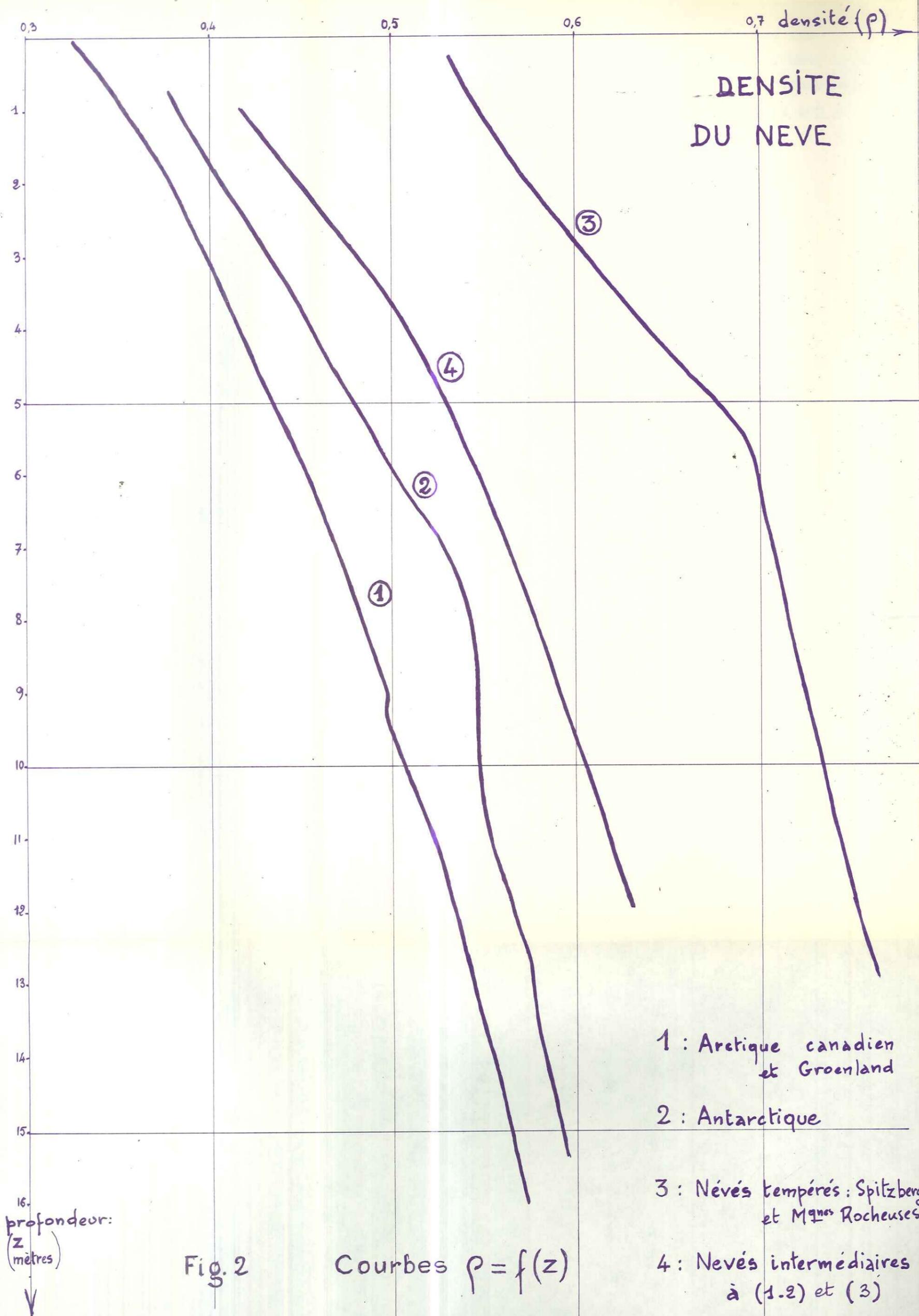


Fig. 2

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 )

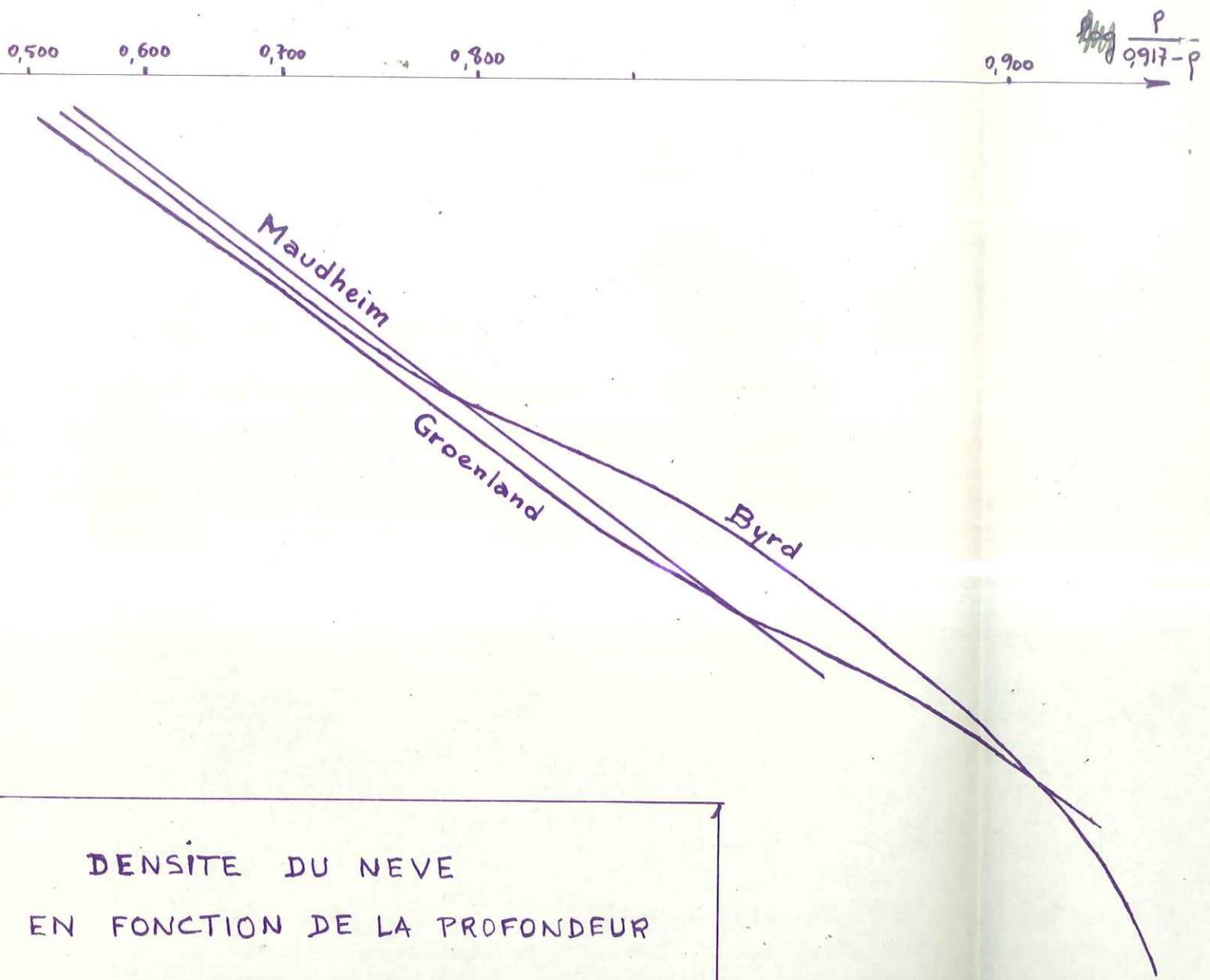
Sur la figure 3 sont portés deux profils de densité mesurés dans l'Antarctique ( à Maudheim d'après Schytt et dans la Terre Marie Byrd d'après Bender et Gow ) et un mesuré au Groenland ( d'après Langway ). Nous avons porté en abcisse, avec Shytt, non pas  $\rho$ , mais  $\rho_0$  ( en appelant  $\rho_0$  la densité de la glace compacte ) et adopté une échelle logarithmique. Les extrémités inférieures des courbes, pour  $\rho_0$  voisin de  $\rho_g$  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, déterminées empiriquement pour la plupart, ont été énoncées. plusieurs d'entre elles sont citées dans les pages qui suivent.

Nous prendrons :

- z : profondeur.
- $\rho$  : densité.
- $\rho_0$  : densité initiale de la neige .
- $\rho_g$  : densité maximum ; soit celle de la glace que nous prendrons égale à 0,917 ( valeur 0,91670, citée par Shumskiy ) (5).

\* V :  
\* V :



DENSITE DU NEVE  
EN FONCTION DE LA PROFONDEUR

Fig. 3

La re

- \* v : volume spécifique :  $\frac{1}{\rho}$
- \* v<sub>0</sub> : volume spécifique initial de la neige :  $\frac{1}{\rho_0}$
- \* v<sub>g</sub> : volume spécifique de la glace :  $\frac{1}{\rho_g} = 1,09 \frac{1}{\rho_0}$

1) LOI DE SORGE

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

Il donne :

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

- avec si z est en mètres :
- : a = + 0,33800
  - : b = + 0,01958
  - : c = + 2,02274 . 10<sup>-3</sup>
  - : d = -3,29092 . 10<sup>-4</sup>
  - : e = + 1,15327 . 10<sup>-5</sup>

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:

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

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

La relation entre z et v, en remplaçant dσ 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  $\sigma$  mais de  $z$ .

Si  $z$  est en mètres et  $\sigma$  en mètres d'eau :

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

$$\frac{\rho}{0,917 - \rho} = \frac{1,09}{v - 1,09} = \frac{1,09}{v_0 - 1,09} e^{0,031 z}$$

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 relation empirique suivante entre  $z$  et

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

$k$ ,  $C$  et  $n$  dépendent 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 :

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

Nous voyons que dans les quatre dernières lois , la densité à une profondeur z est fonction du volume spécifique  $v_0$ .

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 - n° 25 - p. 428
- (2) Journal of Glaciology. Vol. 2 - p. 322 et Shumskiy :  
" Principes de Glaciologie Structurale "
- (3) Journal of Glaciology. Vol. 3 - n° 23 - p. 217
- (4) Journal of Glaciology. Vol. 3- n° 25 - P. 426 à 431  
( )
- (5) Journal of Glaciology. Vol. 3-n° 27 - p. 569
- (6) A. Voellmy : <sup>un</sup>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.