



**HAL**  
open science

**Comportement glaciaire et fluctuations climatiques -  
Première partie: Le Glacier de Sarennes de 1948 à 1953  
(Etude du régime et du bilan)**

Louis Garavel

► **To cite this version:**

Louis Garavel. Comportement glaciaire et fluctuations climatiques - Première partie: Le Glacier de Sarennes de 1948 à 1953 (Etude du régime et du bilan). *Revue forestière française*, 1955, 1, pp.9-26. 10.4267/2042/27053 . hal-03383826

**HAL Id: hal-03383826**

**<https://hal.science/hal-03383826>**

Submitted on 18 Oct 2021

**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.

# COMPORTEMENT GLACIAIRE ET FLUCTUATIONS CLIMATIQUES

---

## PREMIERE PARTIE

### Le Glacier de Sarnnes de 1948 à 1953

(Etude du régime et du bilan)

#### I. — BUT DES OBSERVATIONS EFFECTUÉES

Pour le forestier, le glacier est intéressant en tant que *réactif du climat*.

Jusqu'à une époque récente, et encore maintenant, les observations des services forestiers intéressés ont consisté essentiellement à :

- repérer la position des fronts de façon à déceler les mouvements de la langue du glacier observé (avance ou recul),
- mesurer la vitesse superficielle du glacier selon un ou plusieurs profils transversaux (alignements de pierres),
- relever topographiquement à intervalles de quelques années, des profils transversaux de la langue et de ses rives rocheuses.

Or, il est maintenant admis que de telles observations ne peuvent que difficilement permettre d'établir une relation entre les variations glaciaires et les fluctuations climatiques de courte durée.

Aussi est-il apparu nécessaire d'entreprendre sur quelques glaciers choisis à cet effet des observations portant sur *l'alimentation et l'ablation, observations étendues à la totalité de l'appareil glaciaire*.

C'est M. le Conservateur des Eaux et Forêts CHERREY qui prit, en 1949, l'initiative de telles observations en France. Il a exposé à la sous-section de glaciologie de la Société Hydrotechnique de France les raisons qui l'incitèrent à fixer son choix sur le glacier de Sarnnes, en même temps qu'il décrivait ce petit glacier de cirque logé à la pointe méridionale de l'Arête des Grandes Rousses, en Oisans. Je ne reviendrai pas sur cette présentation, je me contente de rappeler les méthodes d'observations utilisées (1).

(1) Voir « La Houille Blanche », Numéro spécial A, mai 1950, Grenoble.

## II. — MÉTHODE D'OBSERVATION

Le but poursuivi était l'établissement du *bilan* du glacier à la fin de chaque cycle annuel. Il importait de préciser tout d'abord le *stock neigeux* existant à la surface du glacier au début de la *saison chaude* (j'appelle saison chaude la période pendant laquelle l'ablation l'emporte sur l'accumulation, et *saison froide* la période pendant laquelle le stock neigeux se constitue). Ce stock neigeux a d'abord été déterminé par mesure directe: ouverture d'une tranchée — prélèvement et pesée d'un prisme vertical, ce qui permettait d'avoir la valeur en eau de la couverture neigeuse. On utilisa ensuite, surtout pour suivre la marche de l'ablation, les divers modèles de sondes à neige du service hydrométéorologique d'E.D.F.

Ces observations faites à la périodicité de 15 jours en règle générale et étendues à plusieurs stations du glacier judicieusement réparties, ont permis de préciser pour chaque cycle le stock de départ et la date approximative du commencement de la saison chaude.

Il importait ensuite de suivre la *marche de l'ablation* au cours de la saison chaude. Tant que l'ablation concerna la neige, on utilisa la sonde E.D.F. pour avoir la valeur en eau de la couche de neige persistant en chacune des stations lors de chaque visite. Lorsque l'ablation s'opéra sur la glace, on eut recours à des jalons enfoncés à 2 m environ de profondeur dans la glace et dont on repérait la partie apparente.

## III — RÉSULTATS

Le graphique de la planche N° 1 donne schématiquement les résultats obtenus au cours de ces 5 cycles annuels à la cote 3 000, altitude du *niveau d'équilibre* de ce glacier.

Je rappelle à l'appui de cette affirmation que les 2/3 de la surface du glacier de Sarennes sont compris entre 2 950 et 3 050 m d'altitude (M. CHERREY. *Etudes Glaciologiques S.H.F.*, 1949-50) (1) et que d'autre part, les calculs de M. CHERREY d'une part, et MM. FLUSIN et JACOB, d'autre part (2), donnent pour altitude moyenne de la limite du névé sur ce glacier des chiffres très voisins de 3 000 m (2 990 pour M. CHERREY, 3 030 - 2 995 - 2 975 pour MM. FLUSIN et JACOB, selon la méthode retenue.

Voici quelques chiffres :

(1) Voir « La Houille Blanche », Numéro spécial A, mai 1951, Grenoble.

(2) *Etudes Glaciologiques*. Ministère de l'Agriculture. Service d'Etudes des grandes Forces Hydrauliques, 1909, p. 94.

a) *Début, durée, fin de la saison chaude.*

Le tableau ci-dessous résume ces renseignements :

SAISON CHAUDE	SAISON CHAUDE					Moyennes 1949-53
	1949	1950	1951	1952	1953	
Date de commencement de la saison chaude..	1 <sup>er</sup> juin	1 <sup>er</sup> juin	4 juil.	27 mai	19 juin	10 juin
Date à laquelle la ligne du névé a atteint la cote 3 000 .....	1 <sup>er</sup> juil.	1 <sup>er</sup> août	Cote non att.	20 juil.	17 août	?
Date de la fin de la sai- son chaude .....	4 oct.	13 sept.	10 oct.	4 sept.	17 sept.	21 sept.
Durée de la saison chaude .....	126 j.	105 j.	98 j.	99 j.	90 j.	103 j.

 On peut donc admettre que la *saison chaude* englobe à Sarennes :

- les 2 dernières décades de juin,
- les 2 mois de juillet et d'août,
- les 2 premières décades de septembre.

 b) *Accumulation - Ablation - Régime - Bilan.*

 (en millions de m<sup>3</sup> d'eau par km<sup>2</sup>)

Cycles annuels	1948-49	1949-50	1950-51	1951-52	1952-53	Moyenne
1) Accumulation .....	0,71	1,68	2,50	1,80	1,76	1,69
2) Ablation totale ....	3,7	3,3	2,3	3,25	2,67	3,04
3) Régime (1 + 2) ..	4,41	4,98	4,80	5,05	4,43	4,73
4) Bilan (1 - 2) ....	-3,0	-1,62	+0,2	-1,45	-0,91	-1,35

## Commentaires:

 1) L'accumulation moyenne au cours de ces 5 cycles ressort à 1,69 million de m<sup>3</sup> par km<sup>2</sup> de glacier. Elle peut varier  $\pm 1$  million de m<sup>3</sup> autour de cette valeur moyenne.

 2) L'ablation: 3 millions de m<sup>3</sup>  $\pm$  0,750 million de m<sup>3</sup> d'eau.

*Marche de l'ablation en cours de saison*  
(moyenne sur 5 années)

Période	En juin	En juillet	En août	En septembre	Total
Ablation en million de m <sup>3</sup> d'eau par km <sup>2</sup> .....	0,42	0,93	1,17	0,48	3,00
Soit en % .....	14 %	31 %	39 %	16 %	100

*Ablation journalière moyenne*  
(moyenne sur 5 ans)

Période	10 au 30 juin	1 <sup>er</sup> au 31 juil.	1 <sup>er</sup> au 31 août	1 <sup>er</sup> au 20 sept.	Moy
ablation journalière en mm d'eau ....	21 mm	30 mm	37 mm	24 mm	30

3) *Régime.* — Il est remarquablement constant :

$$4,70 \pm 0,35 \text{ million de m}^3 \text{ par km}^2$$

Le régime des glaciers groenlandais serait d'après A. CAILLEUX (1) voisin de 0,700. Celui du HOFFEL en Islande de 5,3. Le glacier de Stor en Laponie Suédoise, étudié par WALLEN donne pour 7 cycles observés un régime moyen de 2,95 (2).

4) *Bilan.* — Il semble étroitement solidaire de l'accumulation.

*Conclusion:* 4 cycles déficitaires — 1 seul faiblement excédentaire: en 5ans le glacier a perdu 6,80 m d'épaisseur au niveau d'équilibre.

A quoi attribuer cet amenuisement glaciaire au cours de la période considérée ?

#### IV. — INTERPRÉTATION

Pour que le glacier de Sarnes conserve son volume, il faut que la limite du névé, en fin de saison chaude, s'établisse sensiblement à la cote 3 000 (niveau d'équilibre). En admettant une augmentation de la fusion de 1 cm d'eau par perte d'altitude de 1 m

(1) « La Glace et les Glaciers », par V. ROMANOVSKY et A. CAILLEUX. Presses Universitaires de France. Collection « Que sais-je - », page 67.

(2) Cité par H. W. SON AHLMANN, dans « Glacier variations and climatic fluctuations », publication de la Société américaine de géographie, New-York, page 12.

(d'après CHERREY. Et. Glac. S.H.F., 1949, page 14), la limite du névé s'établissait théoriquement à :

3 300 m en 1949  
 3 160 m en 1950  
 2 980 m en 1951  
 3 145 m en 1952  
 3 090 m en 1953

Pendant la période considérée, la limite du névé a donc été sensiblement emplacée à 3 135 m, soit nettement au-dessus du niveau d'équilibre 3 000.

Ce fait peut s'expliquer :

- soit par un déficit d'accumulation,
- soit par un excédent d'apport thermique par rapport aux conditions moyennes.

a) *Modification de l'alimentation.*

Si les apports thermiques avaient été chaque saison égaux à la moyenne des apports des 5 saisons observées, l'équilibre du glacier aurait été assuré par une couverture neigeuse valant, au niveau d'équilibre, l'ablation moyenne constatée, soit : 3.04 m.

Or, nous avons enregistré par rapport à ce chiffre les écarts suivants :

en 1948-49 — 2,33  
 en 1949-50 — 1,36  
 en 1950-51 — 0,54  
 en 1951-52 — 1,24  
 en 1952-53 — 1,28

Dans ces conditions, le déficit moyen du stock neigeux ressort à 1,35 million de m<sup>3</sup> d'eau par km<sup>2</sup>, c'est-à-dire à 1 350 mm d'eau à la cote 3 000, soit près de 45 % de la couverture neigeuse susceptible de maintenir le glacier en équilibre dans les conditions thermiques moyennes de la période considérée.

La carence de l'alimentation intervient donc très certainement de façon déterminante. Le fait que le cycle 1950-51 se soit soldé par un bilan positif malgré un enneigement inférieur à la moyenne nous conduit à examiner le rôle du second facteur intervenant dans le comportement des masses glaciaires : l'importance des apports thermiques.

b) *Modification dans les apports thermiques.*

L'ablation, nous l'avons souligné, varie dans des limites plus étroites que le stock neigeux, mais elle varie néanmoins. Or, l'abla-

tion traduit en première approximation l'importance des apports thermiques au cours de la période correspondante.

C'est donc aux variations de l'ablation que nous nous attachons pour essayer de déceler les variations dans l'importance des apports thermiques.

Sous ce rapport, les cycles étudiés se classent de la façon suivante :

Été	:	1949	1950	1952	1953	1951	Moyenne
Ablation :		3,70	3,30	3,25	2,67	2,30	3,04

1949, 1950 et 1952 apparaissent donc comme ayant bénéficié d'apports thermiques *supérieurs* à la moyenne de la période.

1953 et surtout 1951 sont par contre *déficitaires*.

En 1953 cependant, le déficit d'apport thermique n'a pas été suffisant pour neutraliser le handicap d'un enneigement trop faible : le cycle s'est soldé par un bilan déficitaire.

Par contre, en 1951, le gain de substance paraît résulter de la seule insuffisance des apports thermiques, la couverture neigeuse étant, nous l'avons indiqué précédemment, moindre que la moyenne des enneigements constatés au cours de la période considérée.

### CONCLUSIONS

Le déséquilibre constaté semble donc imputable :

- d'une part à un *déficit chronique d'accumulation*,
- d'autre part à des *apports thermiques* fréquemment *supérieurs à la moyenne*.

ce qui sous-entend une modification du climat local.

\*  
\* \*

Les observations sur le climat dans le voisinage du glacier de Sarennes font défaut. Il n'est donc pas possible de poursuivre cette étude dans le domaine de la climatologie.

Toutefois, si nous admettons, ce qui ne paraît point abusif, que les éventuelles variations du climat régnant à Sarennes participent d'une évolution plus générale, il devient possible d'essayer de vérifier les conclusions auxquelles nous avons abouti.

Avant de nous en aller dans cette voie, nous nous attacherons à résoudre le problème suivant :

- Est-il possible de relier le comportement d'un glacier aux variations du climat régional ?

## DEUXIEME PARTIE

Relation entre les variations du climat grenoblois  
et le comportement du glacier de SarennesI. — RELATIONS ENTRE LE COMPORTEMENT D'UN GLACIER  
ET LES VARIATIONS LOCALES DU CLIMAT

Si, au voisinage d'un glacier, le climat devient uniformément plus froid et plus humide, le volume de ce glacier tendra à augmenter. Il diminuera au contraire si le climat devient plus chaud et plus sec.

Mais si le climat évolue vers des précipitations plus abondantes liées à un adoucissement de la température ou s'il devient au contraire plus rigoureux et plus sec à la fois, il est alors délicat de prévoir la réaction du glacier. En effet, cette fois les modifications du climat tendent à se neutraliser alors que dans la première hypothèse elles ajoutaient leurs effets.

Ainsi, nous illustrons le fait que si les *précipitations* et les *températures varient dans le même sens* (augmentation ou diminution) *la réaction du glacier sera faible. Elle sera au contraire nettement marquée si P et T varient en sens opposé.*

Nous sommes ainsi amenés à penser que le rapport P/T est particulièrement apte à caractériser en première approximation les conditions climatiques présidant à l'évolution des masses glaciaires.

## II. — APPLICATION AU GLACIER DE SARENNES

A) *Climat de référence.*

Quelque 50 visites à ce glacier tout au long des 5 années d'observations nous ont amené à penser que le climat grenoblois présentait, malgré les apparences, une grande *analogie* avec le climat de Sarennes. Nous nous sommes donc proposé de voir s'il était possible d'établir une relation entre le comportement du glacier de Sarennes et les variations du *climat grenoblois*.

Afin de disposer de séries remontant assez loin dans le passé, nous avons retenu les chiffres fournis par :

- la station de la Tronche, en ce qui concerne les précipitations,
- la station de Grenoble, en ce qui concerne la température.

(ces deux stations distantes de 2 à 3 km sont situées, la première à 270 m d'altitude, la seconde à 214 m). A vol d'oiseau, une trentaine de kilomètres séparent Grenoble du glacier de Sarennes.

Outre les renseignements fournis par le Bulletin du Comité Météorologique de l'Isère, nous disposons pour La Tronche de moyen-

nes pluviométriques et pour Grenoble de moyennes thermométriques données par BÉNEVENT dans son étude sur « Le climat des Alpes françaises » (1).

Pour les précipitations, ces moyennes intéressent la période 1881-1910; pour les températures la période 1878-1916.

Rappelons que le rythme des saisons se traduit pour le glacier par un cycle annuel comportant *deux périodes*: la plus longue que nous appelons *Saison Froide* débute à l'automne et s'achève fin mai, début juin; c'est la période pendant laquelle le glacier se recouvre d'une couverture neigeuse de plus en plus considérable. Ce stock neigeux est d'autant plus important que les précipitations ont été fortes et les températures — surtout en début et en fin de saison froide — moins élevées. Le stock neigeux en fin de saison froide représente *le reliquat* des précipitations solides recueillies par le glacier. La *Saison Chaude* va de juin à septembre; pendant cette période, le stock neigeux s'amenuise peu à peu sous l'effet des apports thermiques élevés.

Pour simplifier, nous admettrons, en première approximation, que la *saison froide* va du 1<sup>er</sup> octobre au 30 juin, soit 3 « saisons » (2):

Automne	(O.N.D.)
Hiver	(J.F.M.)
Printemps	(A.M.J.)

et que la *saison chaude* se limite aux 3 mois d'été:

Eté	(Jt.A.S.)
-----	-----------

### B) Représentation climogrammique.

Sur un système d'axes rectangulaires portant, en abscisses les températures moyennes, et en ordonnées les précipitations saisonnières, chacune des 4 saisons sera représentée par un point. Chacun de ces points déterminés par les valeurs moyennes (1) tirées de BÉNEVENT situera le « *climat moyen* » de la saison considérée pendant la période 1880-1910 (fig. 7).

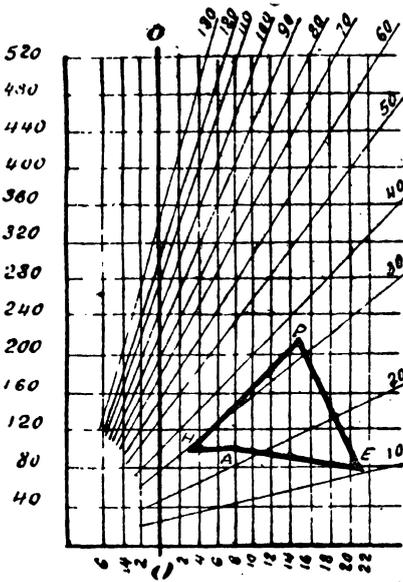
Utilisant le même mode de représentation, j'ai figuré la position de chacune des 4 saisons des 5 cycles pendant lesquels les observations ont été effectuées sur le glacier de Sarennes. L'on peut constater combien les différences sont grandes. Notons en particulier que deux cycles se traduisant par un comportement très voi-

(1) Mémorial de l'Office National Météorologique de France, 1926. E. Chiron, éditeur, 40, rue de Seine, à Paris.

(2) Conformément au schéma adopté par la Commission Météorologique de l'Isère dans ses publications.

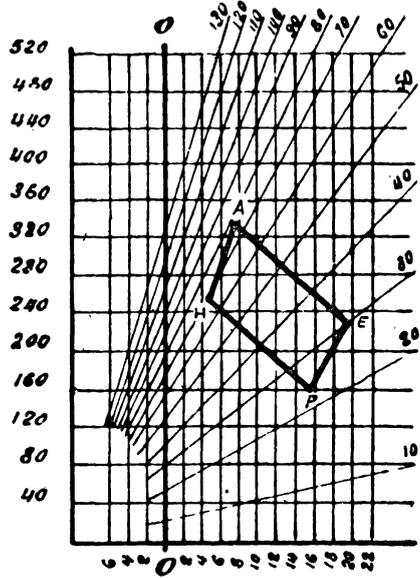
(1) Ramenées à leurs valeurs brutes en ce qui concerne les moyennes de température.

FIG. 1.



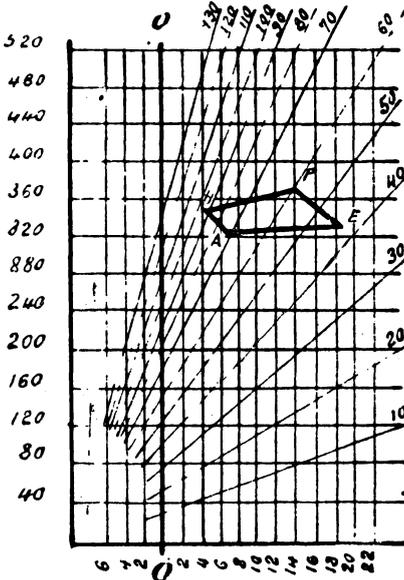
1948-1949

FIG. 2.



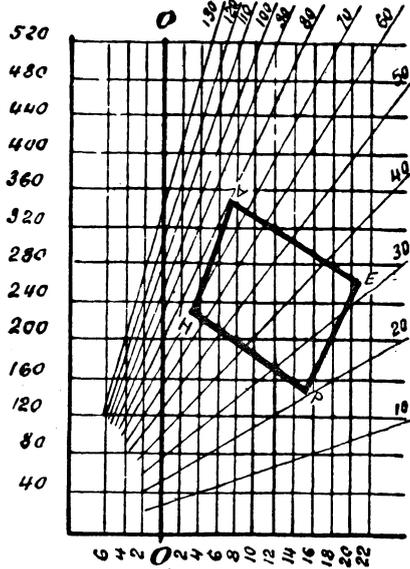
1949-1950

FIG. 3.



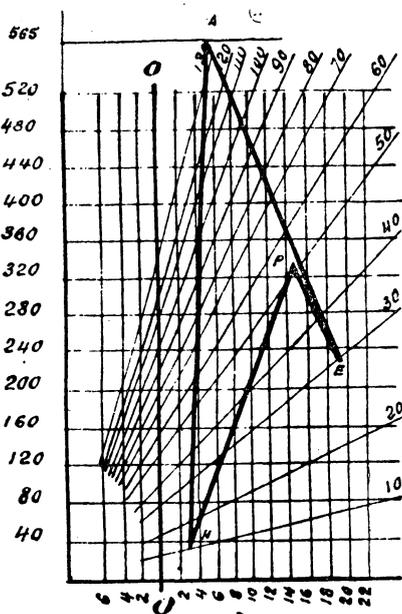
1950-1951

FIG. 4.



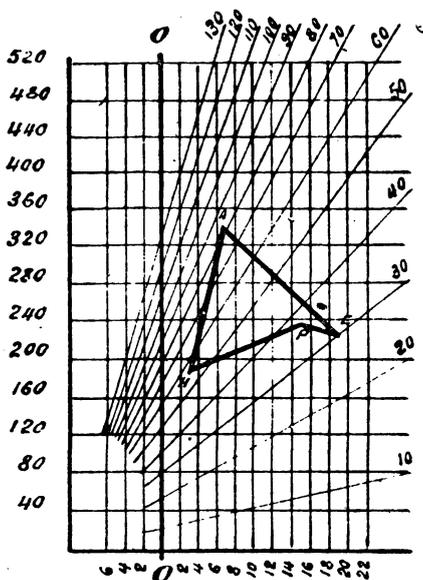
1951-1952

FIG. 5.



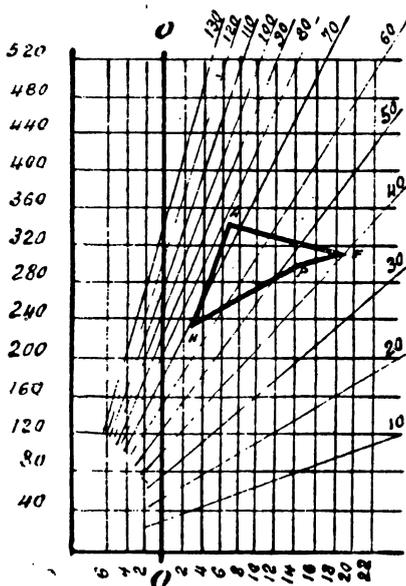
1952-1953

FIG. 6.



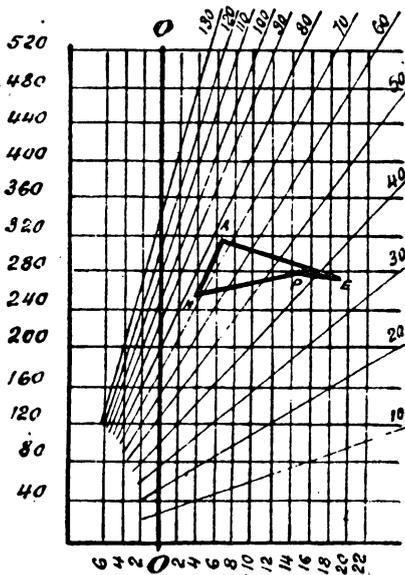
1948-1953

FIG. 7.



1881-1910 pour P  
1878-1916 pour T  
BENEVENT

FIG. 8.



1911-1940

sin du glacier — celui de 1948-49 et celui de 1951-52 — apparaissent ici radicalement différents.

C) *Indice d'aridité: Formule de l'équilibre climo-glaciaire.*

Le recours aux *Indices d'aridité saisonniers* va nous permettre de rapprocher ces deux saisons.

Nous adapterons la formule de M. de MARTONNE à la saison en écrivant :

$$Ia \text{ saisonnier} = \frac{\text{Pluviosité saisonnière} \times 4}{10 + \text{Temp. moy. saisonnière}}$$

Nous déterminerons très facilement l'indice d'aridité de chaque saison considérée, par référence à l'éventail des Indices d'aridité tracé sur le système d'axes retenu pour la représentation climogrammique. Nous constatons que si le point figuratif d'une saison se déplace perpendiculairement aux rayons du réseau d'indice d'aridité ainsi tracé, l'aridité de cette saison variera rapidement, en plus ou moins selon le sens, au contraire si le point figuratif glisse sur ce rayon, en se rapprochant ou en s'éloignant de l'origine du réseau, l'indice d'aridité de cette saison demeurera inchangé.

Or, en première approximation :

*Le stock nival variera comme la somme des indices d'aridité des 3 saisons de la période froide.*

*L'ablation variera en sens inverse de l'indice d'aridité de la période chaude.*

Un *déficit* de la somme des Indices d'aridité de la saison froide traduira donc un *déficit de la couverture neigeuse*. Ce déficit pourra être compensé par une *ablation faible*, ce qui suppose un *Ia de la saison chaude élevé et inversement*.

La relation :

$$Ia (A) + Ia (H) + Ia (P) + K \times Ia (E) = \text{constante}$$

traduit ce fait (K étant un coefficient variant selon la plus ou moins grande aridité estivale du climat de référence).

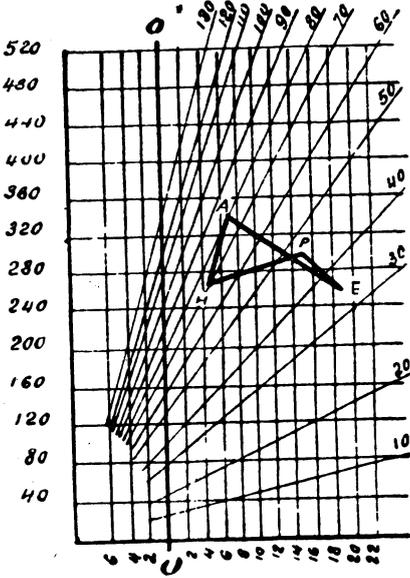
En année équilibrée, nous savons que l'accumulation et l'ablation se compensent, ce que nous pouvons écrire en transposant :

$$Ia (A) + Ia (H) + Ia (P) = K \times Ia (E)$$

d'où valeur de K et par suite celle de la *constante*.

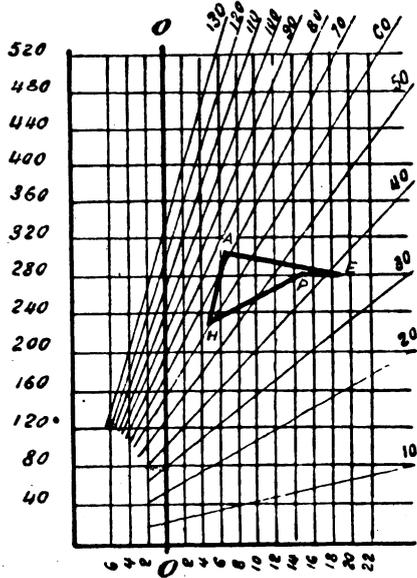
Au cas présent, avec les chiffres de BÉNEVENT, cela nous donne pour K la valeur 4,75, et pour la valeur de la constante, 400 (très

FIG. 9.



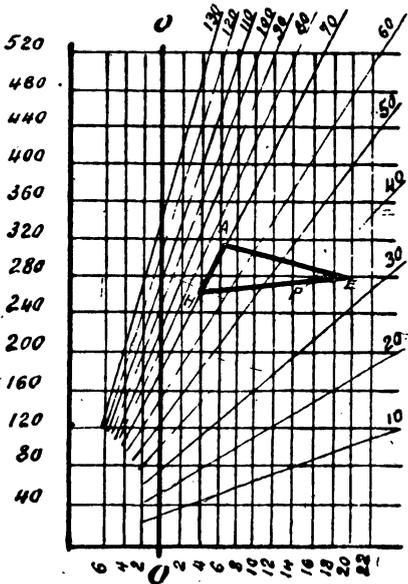
1911-1920

FIG. 10.



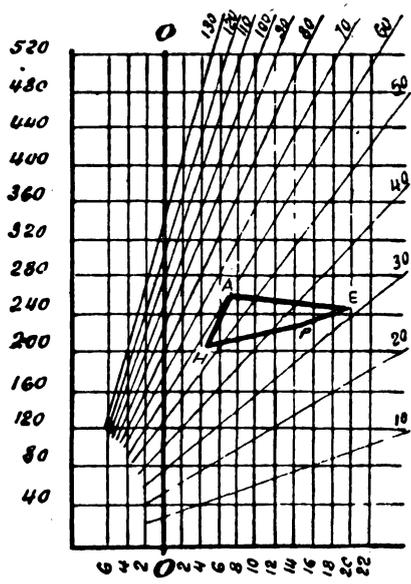
1921-1930

FIG. 11.



1931-1940

FIG. 12.



1941-1950

sensiblement) D'où la formule traduisant l'équilibre climoglaciare (en supposant la période de référence comme telle).

$$Ia (A) + Ia (H) + Ia (P) + 4,75 Ia (E) = 400.$$

D) *Application de la formule d'équilibre climo-glaciaire.*

Si, en appliquant cette formule, on trouve un chiffre *supérieur* à 400, on peut escompter que le glacier a eu un *bilan positif* (il a fait des réserves, il a augmenté son volume).

Inversement, si le chiffre obtenu est *inférieur* à 400, on peut déduire que l'exercice considéré a dû se solder par un *déficit*.

*Application aux 5 cycles étudiés*

Cycles	1948-49	1949-50	1950-51	1951-52	1952-53
Bilan observé en million de m <sup>3</sup> par km <sup>2</sup> .....	— 3,0	— 1,62	+ 0,2	— 1,45	— 0,91
ΣIa — 400 ...	— 260	— 88	+ 52	— 68	— 43

*Ainsi, la formule « d'équilibre climo-glaciaire » proposée semble rendre compte en première approximation du comportement récent du glacier de Sarnnes par utilisation des données pluvio-thermiques de Grenoble.*

III. — ESSAIS DE RECONSTITUTION DU COMPORTEMENT PASSÉ  
DU GLACIER DE SARNNES  
D'APRÈS LES VARIATIONS DU CLIMAT GRENOBLOIS

Les archives de la Commission Météorologique de l'Isère permettent de remonter jusqu'en 1880.

1) *L'évolution climatique.*

A) *Précipitations.*

Le tableau ci-dessous résume les renseignements recueillis relativement aux précipitations. Le nombre en chiffres gras désigne des millimètres d'eau, en chiffres maigres des pourcentages.

TABLEAU

TABLEAU I

Station de la Tronche: précipitations saisonnières périodiques et répartition en % de la moyenne annuelle périodique.

	SAISONS				ANNÉE
	A	H	P	E	MOYENNE
<i>Longues périodes:</i>	—	—	—	—	—
1881-1910 .....	<b>331</b>	<b>236</b>	<b>296</b>	<b>298</b>	<b>1161</b>
(BÉNEVENT)	28,5	20,3	25,5	25,6	100
1911-1940 .....	<b>317</b>	<b>250</b>	<b>283</b>	<b>271</b>	<b>1121</b>
(MERCIER)	28,2	22,3	25,25	24,25	100
<i>Décades:</i>					
1911-1920 .....	<b>338</b>	<b>265</b>	<b>294</b>	<b>256</b>	<b>1153</b>
	29,1	23	25,6	22,3	100
1921-1930 .....	<b>300</b>	<b>233</b>	<b>282</b>	<b>280</b>	<b>1095</b>
	27,2	21,2	25,6	25,5	100
1931-1940 .....	<b>310</b>	<b>250</b>	<b>275</b>	<b>277</b>	<b>1112</b>
	28	22,5	24,5	25	100
1941-1950 .....	<b>253</b>	<b>207</b>	<b>233</b>	<b>246</b>	<b>939</b>
	27	22	24,75	26,25	100
<i>Période en cours:</i>					
A. 1948 - E. 1953 ....	<b>332</b>	<b>194</b>	<b>240</b>	<b>233</b>	<b>989</b>
	33,6	19,6	24,2	22,6	100

*Commentaires:*

*La décade 1941-50 est nettement la plus sèche.*

*La période 1948-53 semble annoncer une période plus humide avec toutefois une sécheresse plus marquée de l'Hiver et de l'Eté.*

B) *Températures moyennes.*

J'ai résumé dans le tableau suivant les renseignements recueillis au sujet de la température moyenne saisonnière à Grenoble.

TABLEAU II  
Températures moyennes saisonnières à Grenoble.

	SAISONS				MOYENNE
	A	H	P	E	ANNÉE
<i>Longues périodes:</i>					
1878-1916 ..... (BÉNEVENT)	6°80	3°62	14°43	18,75	10°90
1891-1930 ..... (SANSON)*	7°01	4°	14°50	18°70	11°1
1911-1940 .....	7°11	4°31	14°62	19°04	11°27
<i>Décades:</i>					
1911-1920 .....	6°9	4°5	14°6	18°8	11°2
1921-1930 .....	7°	4°2	14°46	19°	11°15
1931-1940 .....	7°44	4°23	14°82	19°33	11°45
1941-1950 .....	6°91	4°20	15°60	19°83	11°65
<i>Période en cours:</i>					
A. 1948 - E. 1953 ...	7°17	3°82	14°80	19°52	11°33

(\*) Memorial de la Météorologie Nationale: Recueil de données statistiques relatives à la climatologie de la France, par J SANSON. O.N.M., Paris, rue de l'Université, 196, 1945.

*Commentaire:*

*Ces chiffres traduisent un léger relèvement de la température moyenne annuelle culminant pendant la décade 1941-50. La période 1948-53 semble indiquer que la phase de réchauffement est passée par son maximum.*

*En ce qui concerne les températures saisonnières, ce sont les températures du printemps et de l'été qui semblent avoir subi l'élévation la plus importante.*

C) Indices d'aridité.

Le Tableau A donne les Ia correspondant aux diverses périodes.

TABLEAU III

Climat Grenoblois: Ia saisonniers moyens - Périodes diverses.

Période	Longues périodes		Décades				Période
	1880/ 1910	1911/ 1940	1911/ 1920	1921/ 1930	1931/ 1940	1941/ 1950	A/1948 E/ 1953
<i>Saisons:</i>							
A .....	79	74	80	72	71	60	78
H .....	70	72	74	66	71	59	55
P .....	48,5	46	48	47	44,75	37	39
E .....	42	37,75	36	39	38	33,5	31

*Commentaires:*

La décade 1941-50 est remarquable par son aridité anormalement accusée et généralisée aux 4 saisons. La période 1948-53 marque le retour d'automnes normaux. Par contre, les autres saisons et plus spécialement l'Eté et l'Hiver, conservent des Indices d'aridité anormalement faibles.

## 2) Application de la formule d'équilibre climo-glaciaire.

## A) Tendances périodiques.

Le tableau ci-après fournit les résultats obtenus par application de la formule aux diverses périodes considérées:

Période	Longues périodes		Décades				Période en cours
	1880/ 1910	1911/ 1940	1911/ 1920	1921/ 1930	1931/ 1940	1941/ 1950	
—	—	—	—	—	—	—	—
$\Sigma$ Ia	396,5 (400)*	370	373	370	367*	314	319
$\Sigma$ Ia — 400 =	0	— 30	— 27	— 30	— 33	— 86	— 81

\* peu différent de.

*Commentaires:*

La décade 1941-50 apparaît très nettement déficitaire.

La période 1948-53 semble annoncer un redressement.

Les graphiques des planches II, III et IV traduisent de façon plus expressive l'évolution du climat tout au long de la période 1880-1953.

## B) Cycles annuels.

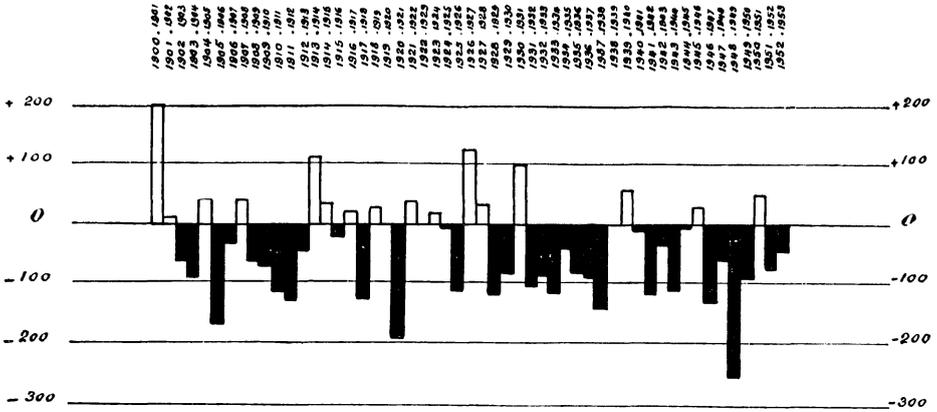
J'ai tenté de reconstituer par application de la formule d'équilibre climo-glaciaire proposée, les cycles annuels du glacier de Sarnenes. Je me suis toutefois borné à examiner les années comprises dans la période 1900-1953. Le graphique de la planche V traduit les résultats obtenus.

*Commentaires:*

Nous remarquerons combien sont rares les cycles excédentaires depuis 1930. Je me permets de rapprocher cette indication des faits exposés par M. le Conservateur CHERREY dans son étude du glacier de Sarnenes, déjà citée: de 1930 à 1919, ce glacier aurait perdu de 30 à 35 m d'épaisseur. Par contre, se référant à la photographie de M. FLUSIN en 1905, M. CHERREY déclare que le glacier était en 1928 à peu près inchangé.

D'après M. BÉNEVENT, tome VI, page 103 des *Etudes Glaciologiques*, l'été 1918 se caractérisa par une « fusion considérable » des glaciers de l'Oisans. Or, le cycle 1917-18 apparaît sur notre graphique comme nettement déficitaire (— 121).

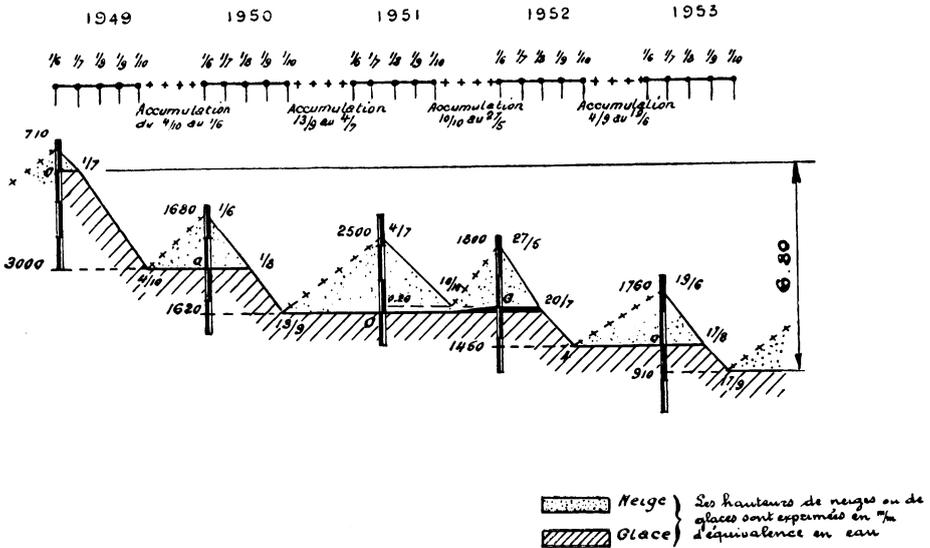
Par contre, le cycle suivant apparaît excédentaire (+ 20). Or, M. ALLIX note « arrivée très tardive des chaleurs estivales en 1919 » (Tome VI, page 114).



CLIMAT GRENOBLOIS

Application de la formule d'équilibre climoglacière

$$Ia (A) + Ia (H) + Ia (P) + 4.75 Ia (E) - 400 = 0.$$



GLACIER DE SARENNES  
Période 1949-1953

Comportement en un point de la ligne d'équilibre. - Altitude: 3000 m.

Nota: Pour chaque période d'ablation considérée, l'origine des hauteurs est le point d'affleurement du jalon à la surface de la glace.



Vue générale du Glacier de Sarennes  
en 1906.

(Cliché Flusin.)



Vue générale du Glacier de Sarennès  
en 1953 (octobre).

(Cliché Garavel).

*De même le cycle 1920-21 apparaît dans la littérature glaciologique comme remarquable par son très faible enneigement et la sécheresse de son été. Ceci est traduit par le graphique (— 191).*

*Citons encore le cycle 1922-23 dont les caractéristiques climatiques font l'objet de notes dans le même ouvrage, page 132. Ce cycle se caractérise par un « gros enneigement », un printemps froid et une « vague de chaleur » en juillet et août. D'après notre graphique, ce cycle apparaît comme équilibré, ce qui cadre bien avec les conditions climatiques de ce cycle.*

*Ainsi la formule basée sur les Indices d'aridité saisonniers de Grenoble, semble rendre compte, en première approximation du comportement du glacier de Sarennes, depuis 50 ans.*

IV. — GÉNÉRALISATION DE LA FORMULE PROPOSÉE

La méthode proposée est-elle transposable ailleurs? Telle est la question à laquelle il importe de répondre avant d'aller plus avant.

La réponse à cette question sera donnée par des essais d'application aussi nombreux que possible, se référant, soit à des cycles présents, soit à des cycles ou périodes passées suffisamment bien connues au double point de vue du climat de la station de référence et du comportement des glaciers les plus voisins (1).

Cette vérification n'offre pas de difficultés. En effet, si la relation s'applique, il s'ensuit que l'altitude de la limite du névé (2) en fin de saison chaude sera d'autant plus élevée que la formule proposée traduira une tendance plus nettement déficitaire et inversement. Aussi, à défaut d'autres indications, de simples photographies de glaciers prises en septembre peuvent permettre ces vérifications.

*Nota.* — Il y aurait lieu, à cet effet, d'utiliser la formule moins grossière faisant intervenir les Indices d'aridité mensuels :

$$I_{am} = \frac{12 \times P \text{ mensuelles}}{T. \text{ moy.} + 10}$$

$$\sum I_a \text{ mensuels d'oct. à mai} + K \times \sum I_a \text{ mensuels de juin à sept.} \\ - Cte$$

$$\text{avec } K = \frac{\sum I_a \text{ mensuels d'oct. à mai}}{\sum I_a \text{ mensuels de juin à sept.}}$$

les Indices d'Aridité en cause dans cette dernière relation se référant à un cycle ou une série de cycles s'étant traduits par un bilan

(1) La Vallée de Chamonix paraît offrir des conditions particulièrement propices à cette vérification.

(2) Ligne de contact entre la zone où la neige de l'hiver précédent disparaît complètement et la zone où subsiste un reliquat d'enneigement.

nul, on obtient ainsi le coefficient K et la valeur de la constante d'équilibre.

On peut écrire la formule (cf. formule du bilan glaciaire):

$\Sigma$  Ia m. d'oct. à mai — (Cte — K  $\times$   $\Sigma$  Ia m. de juin à sept) = 0  
qui devient:

$\Sigma$  Ia m. d'oct. à mai + K  $\times$   $\Sigma$  Ia m. de juin à sept. — Constante  
= 0.

Si le chiffre trouvé est négatif, le cycle apparaît déficitaire. La limite du névé en fin de saison chaude doit donc être relativement élevée. Elle doit au contraire être en altitude plus faible si le chiffre trouvé est positif.

L. GARAVEL.

#### BIBLIOGRAPHIE DES OUVRAGES CONSULTÉS

- La Houille Blanche*, n° spécial de mai 1950. Grenoble.  
*La Houille Blanche*, n° spécial de mai 1951. Grenoble.  
*Etudes Glaciologiques*, tome I. Ministère de l'Agriculture. Service d'Etude des Grandes Forces Hydrauliques, 1909, page 94.  
*Etudes Glaciologiques*, tome VI, page 103.  
 BÉNEVENT (E.). — « Le climat des Alpes Françaises ». Mémorial de l'Office National Météorologique de France, 1926. E. Chiron, éditeur, 40, rue de Seine, Paris.  
 SANSON (J.). — « Recueil de données statistiques relatives à la climatologie de la France ». Mémorial de l'Office National Météorologique, 1945. O.N.M. Paris, rue de l'Université, n° 196.  
 MERCIER (J.). — « Les Précipitations dans l'Isère au cours de la période trentenaire 1911-1940 ». *Revue de Géographie Alpine*, année 1942.  
 AHLMANN (H.-W. Son). — « Glacier variations and climatic fluctuations ». Société Américaine de Géographie, New-York, page 12.  
 ROMANOVSKY (V.) et CAILLEUX (A.). — « La Glace et les Glaciers ». Collection « Que sais-je? ». Presses Universitaires de France, 1953, page 67.
-