

COMMISSION FRANÇAISE DES GLACIERS

RAPPORT

SUR LES VARIATIONS DES GLACIERS FRANÇAIS DE 1900
A 1901, PRÉSENTÉ A LA COMMISSION FRANÇAISE DES
GLACIERS.

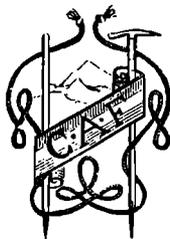
PAR M. W. KILIAN

REVUE DE GLACIOLOGIE

PAR M. CH. RABOT

Extrait de l'Annuaire du Club Alpin Français.

28^e volume — 1901.



MACON

PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS

1902

COMMISSION FRANÇAISE DES GLACIERS

RAPPORT

SUR LES VARIATIONS DES GLACIERS FRANÇAIS DE 1900 A
1901, PRÉSENTÉ A LA COMMISSION FRANÇAISE DES GLA-
CIERS.

COMMISSION FRANÇAISE DES GLACIERS

RAPPORT

SUR LES VARIATIONS DES GLACIERS FRANÇAIS DE 1900 A
1901, PRÉSENTÉ A LA COMMISSION FRANÇAISE DES GLA-
CIERS.

(PAR M. W. KILIAN)

La création de la Commission française des glaciers est encore trop récente (juillet 1901) pour qu'elle ait pu réunir dès cette année un grand nombre d'observations. Il ne nous est parvenu de documents que de la *Société des Touristes du Dauphiné*, qui a continué, en joignant à ses propres ressources une subvention accordée par notre Commission, grâce à la générosité de son président d'honneur, le prince Roland Bonaparte, l'enquête qu'elle poursuit, depuis 1891, sur les appareils glaciaires des Alpes dauphinoises, et dont elle a résumé, en 1900, en une publication spéciale ¹, les premiers résultats. Ce rapport, que j'ai l'honneur de présenter à la Commission, sur l'année 1901, ne comprendra donc que l'exposé des travaux exécutés en 1901 par cette Société, tels qu'ils sont

1. *Observations sur les Variations des glaciers et l'enneigement dans les Alpes dauphinoises, organisées par la Société des Touristes du Dauphiné*, sous la direction de W. KILIAN, professeur à la Faculté des Sciences de Grenoble, avec la collaboration de G. FLUSIN, préparateur à la Faculté des Sciences de Grenoble, et le concours des guides de la Société, de 1890 à 1899, et publiées sous le patronage de l'Association française pour l'Avancement des Sciences. 1 vol. in-4°, 220 pp., 9 pl. en phototypie ; Grenoble, 1900, imp. Allier frères.

relatés dans un mémoire accompagné de planches destiné à figurer dans le tome XXVII de son *Annuaire*.

Nous joignons à cet extrait quelques vues photographiques qui pourront servir dans l'avenir de documents pour l'histoire des glaciers dauphinois, ainsi qu'une carte représentant, pour ceux d'entre eux qui sont mis en observation, l'état actuel de leurs variations.

Les *desiderata* que nous nous en voudrions de ne pas exprimer, au sujet de ces recherches sur les glaciers dauphinois, peuvent se résumer de la façon suivante :

1° Installation d'un service nivométrique dirigé par des personnes compétentes, afin de remplacer par des données *methodiquement* réunies et *scientifiquement comparables* entre elles les renseignements peu précis et parfois sujets à caution fournis par les guides et par diverses administrations ;

2° Organisation d'études sur la physique des glaciers ;

3° Organisation de collections de photographies anciennes pouvant servir de documents comparatifs ;

4° Enfin, et *avant toute autre chose*, recrutement de confrères de bonne volonté, se consacrant activement aux études glaciologiques, *que ne pourront continuer longtemps* personnellement, à cause de leurs occupations professionnelles, les quelques rares observateurs qui en ont pris l'initiative en Dauphiné.

Les glaciers de la Haute-Tarentaise et du massif du Mont-Blanc, dont l'importance plus grande permettait cependant des recherches physiques plus faciles et plus fécondes en conclusions intéressantes, et dont M. J. Vallot a si brillamment inauguré l'étude par son beau mémoire sur la Mer de Glace (1900), n'ont tenté aucun nouvel observateur. Les Pyrénées, avec leurs glaciers suspendus d'un type si spécial, ne sont pas non plus représentées dans ce premier rapport ; nous souhaitons vive-

ment, pour l'honneur de l'Alpinisme et de la Science française, que ces regrettables lacunes ne tardent pas à être comblées.

Nouvelles observations sur les glaciers du Dauphiné et de la Haute-Ubaye, recueillies ou réunies par MM. W. Kilian, G. Flusin et J. Offner, pour le compte de la Société des Touristes du Dauphiné.

A. — MASSIF DU PELVOUX

BASSIN DE LA ROMANCHE

(OBSERVATIONS DE M. OFFNER)

Glacier du Lac.

Le glacier du Lac est moins un véritable glacier qu'un champ de névé. Sa pente est à peu près uniforme. Sa surface est couverte de nombreuses rigoles parallèles, dirigées dans le sens de la plus grande pente (*Firnfurchen*), par lesquelles s'écoule l'eau de fusion. L'épaisseur moyenne de la glace au front du glacier est de 0^m,50. Sur la rive gauche, elle atteint encore 5^m,20; le niveau du glacier a baissé, en deux ans, de 3^m,30. Une masse de rochers est découverte au milieu de la glace.

Tous les repères placés en 1899 par le guide Émile Pic sont à leur place.

Modifications observées le 23 août 1901 :

Rive droite : R ₀	au glacier.	Recul constaté	8 ^m , 50
R ₁	—	—	28 ^m , 00
R ₂	—	—	11 ^m , 50
R ₃	—	—	25 ^m , 50
R ₄	—	—	1 ^m , 60
R ₅	—	—	0 ^m , 70
Rive gauche : R ₀	—	—	0 ^m , 50

Commencée en 1894, la période de décrue continue. En deux ans, le glacier du Lac présente un recul d'environ 11 mètres, surtout manifeste sur la rive droite.

Glacier de la Gyrose.

Le glacier de la Gyrose présente de profondes crevasses avec des séracs de 5 à 10 mètres de hauteur, surtout nombreux dans la partie médiane et supérieure. Les bandes boueuses sont très nettes sur la rive gauche; c'est de ce côté que tombent toutes les avalanches. Les glaciers du Lac et de la Gyrose ne communiquent plus que sur une longueur d'environ 25 mètres.

Comme les autres glaciers du versant Nord de la Meije, le glacier de la Gyrose recule, d'après le guide Émile Pic.

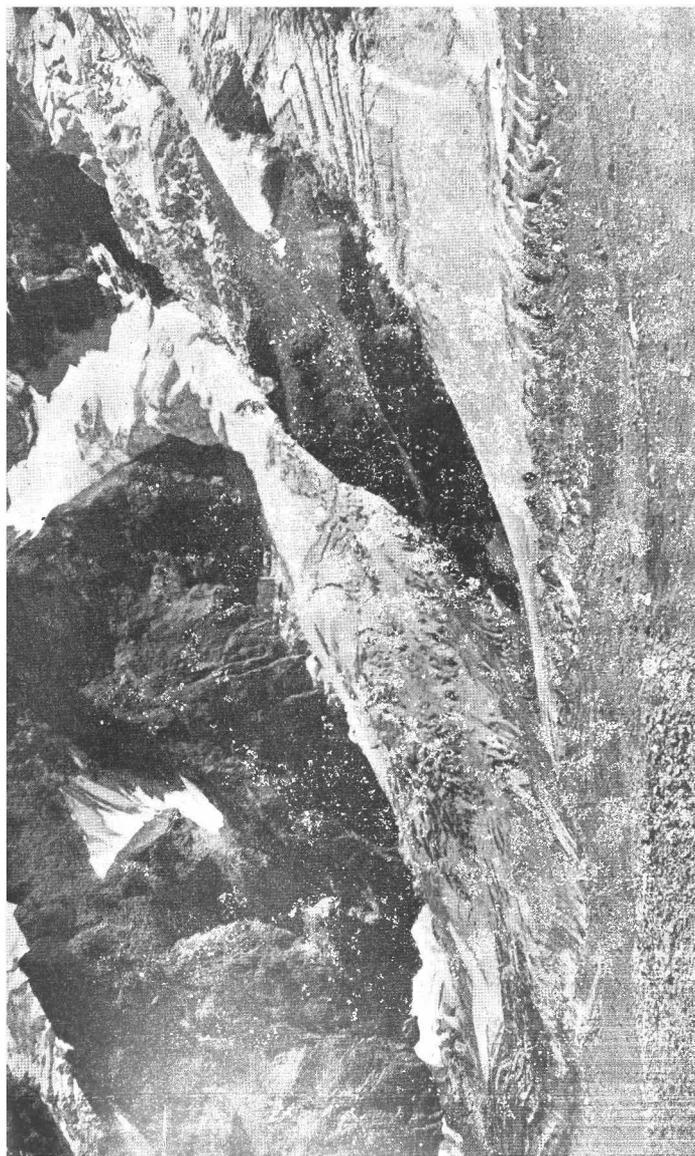
Glacier du Vallon.

Le glacier du Vallon présente à sa partie inférieure l'aspect d'un névé, comme le glacier du Lac. Dans la partie supérieure, seulement, existent quelques crevasses et quelques séracs. Une moraine frontale, en avant de la moitié droite du glacier, n'existait pas, d'après le guide Émile Pic, il y a deux ans. Plusieurs des repères placés en 1899 n'ont pas été retrouvés.

Modifications observées le 23 août 1899 :

Rive droite :	R ₀ au glacier.	Recul constaté	19 mètres.
	R ₁ —	—	14 —
	R ₂ —	—	17 —
	R ₃ —	—	13 —
Rive gauche :	R ₀ —	—	7 —

La décrue est plus accentuée sur la rive droite; elle a une valeur moyenne de 14 mètres.



Glacier du Râteau.

Outre les trois grandes lignes de moraines, déjà signalées dans les observations antérieures et correspondant sans doute à trois phases de l'activité du glacier, une quatrième ligne de moraines apparaît depuis 1899 (É. Pic). Plus récente en effet que les trois autres, elle est en outre formée d'éléments caractéristiques par leur couleur, provenant de rochers rougeâtres situés non loin du glacier.

Modifications observées le 24 août 1901

Rive droite	Le repère R_0 n'a pas été retrouvé.			
	R_1 au glacier.	Recul constaté	1 mè.	
	R_2	—	—	5 —
Rive gauche	R_0	—	—	21 —

Le glacier du Râteau accentue son mouvement de décrue; en deux ans il a reculé de 9 mètres.

Sur la première moraine, qui déjà en 1890 était presque entièrement gazonnée (Prince Roland Bonaparte), nous avons arraché une souche de saule en pleine végétation, dont la plus grosse branche présentait 15 couches annuelles. Le mouvement de recul date donc en ce point d'au moins vingt ans. Les plantes ligneuses ne s'établissent en effet qu'après les plantes herbacées, sur le sol abandonné par les glaces, et aucune de celles-ci n'apparaît avant deux à trois ans.

Glacier de la Meije.**Modifications observées le 25 août 1901**

Rive droite	R_0 au glacier.	Recul constaté	13 ^m , 50
	R_4	—	6 ^m , 00
	R_4	—	21 ^m , 00
	R_6	—	5 ^m , 00
Rive gauche	R_0	—	9 ^m , 00

Tous les repères retrouvés montrent que le glacier de la Meije continue son mouvement de décrue.

On peut estimer à 5 mètres le recul du glacier des Enfetchores. Depuis que les deux glaciers de la Meije et des Enfetchores ne se réunissent plus à leur partie inférieure, les rochers des *Enfetchores* ne méritent plus ce nom ; ils ne sont plus « enfermés », entourés de toutes parts par la glace. Une ligne de rochers se découvre aussi sur la rive droite, non loin du Serret du Savon.

Les avalanches, très fréquentes, modifient d'un moment à l'autre sous nos yeux l'aspect du glacier. Le couloir d'avalanche le plus important est situé sur la rive droite. En un point où viennent de s'écrouler des masses considérables de glace, on voit sourdre le torrent sous-glaciaire en plusieurs ruisseaux sous une épaisse muraille de glace, à une grande hauteur au-dessus du front du glacier.

La grotte creusée sous le front du glacier de la Meije présente un développement remarquable. Son ouverture, irrégulièrement demi-circulaire, peut atteindre 50 mètres de large sur 15 mètres de haut. Mais elle est peu profonde, et le plafond s'incline rapidement vers le lit du glacier. Il était malheureusement impossible de s'en approcher, à cause des chutes de pierres, particulièrement fréquentes au milieu de la journée. La stratification du glacier est très nette sur les parois de la grotte ; les stries forment deux systèmes divergents, et dans chaque système elles sont parallèles entre elles et coupées à peu près rectangulairement par de longues crevasses linéaires. L'eau de fusion du glacier s'écoule en une puissante cascade qui se déplace d'un jour à l'autre ; située le 25 août à droite de la grotte, elle se trouvait le 7 septembre du côté opposé.

Additions aux notes précédentes sur les glaciers de la Meije, du Râteau et du Vallon.

(OBSERVATIONS DE M. KILIAN)

Les glaciers de la Meije ont été visités le 6 août 1901 par M. Kilian, qui avait examiné ces mêmes glaciers (glaciers de la Meije, du Râteau et du Vallon) en 1894, également au mois d'août.

La *diminution* qu'ont subie ces glaciers depuis sept ans est sensible, surtout à la base des rochers des Enfetchores, dont M. Kilian a pris une photographie qui peut être comparée à celle que le même observateur a publiée en 1894 (*Annuaire de la Société des Touristes du Dauphiné*, t. XX), et où l'on peut constater que le rocher nu apparaît en des points où il n'était pas visible autrefois, et que la couche de glace est actuellement moins épaisse et moins fissurée, quoique la répartition générale soit restée à peu près la même.

Les vues prises par M. Kilian permettent également d'observer qu'à la base des rochers de gauche (côté droit de la photographie de 1894) des pierrailles ont remplacé la glace, et que toute la terminaison inférieure du glacier se montre moins continue, moins gonflée et beaucoup plus crevassée.

Les pointements rocheux de la partie moyenne du glacier, loin d'être moins visibles, se sont dégagés sensiblement, et le niveau de la glace a baissé sur leur pourtour.

L'ensemble du glacier présente une surface plus crevassée et plus morcelée qu'en 1894.

La présence d'une *moraine latérale* très considérable, qui forme un « vallum » élevé, de forme caractéristique, et qui limite la dépression occupée par les moraines plus récentes et la glace, permet de constater nettement que

les glaciers de la Meije, du Râteau et du Vallon n'étaient, à une époque ancienne, que des *parties d'un seul et même glacier*. Cette moraine, haute de plus de 50 mètres, s'étend du côté gauche du glacier du Vallon, jusqu'en aval du glacier de la Meije, et limite au Nord-Ouest la partie amont du vallon de Chalp-Vachère (Chalvachère des auteurs). Elle permet de se rendre compte de l'énorme abaissement de niveau.

L'extrémité du glacier de la Meije est aujourd'hui à plus de 600 mètres des chalets à 150 mètres desquels on exploitait la glace en 1860, sur 12 mètres de hauteur, d'après les souvenirs du guide Émile Pic.

L'effondrement de la moraine du glacier du Râteau, dont M. Kilian a donné (*loc. cit.*) la photographie en 1894, a aujourd'hui disparu.

Glacier de l'Homme.

(OBSERVATIONS DE M. OFFNER)

Depuis les observations faites sur ce glacier en 1890 et 1891 par le prince Roland Bonaparte, qui y fit placer des marques rouges par le guide Roderon, aucune mesure n'a été faite. Des témoins dignes de foi prétendent avoir remarqué que le niveau inférieur de ce glacier s'est très sensiblement élevé pendant ces dernières années. On aurait même vu autrefois le glacier du Pourrchet (c'est ainsi qu'on désigne dans le pays la partie inférieure du glacier de l'Homme) descendre jusqu'à la Romanche; mais il n'est pas possible de décider, même approximativement, à quelle date on peut faire remonter cette période de crue considérable.

L'un de nous (M. Offner) a eu l'occasion de relever sur le plan cadastral du Villar-d'Arène (Hautes-Alpes) la superficie occupée par les glaciers sur le territoire de cette

commune. Nous avons cru intéressant de consigner ici ces chiffres, qui, comparés à des mesures ultérieures, pourraient fournir des résultats importants. Trois sections de la commune renferment des glaciers; une section I, dite *des Glaciers*, est même presque totalement occupée par les glaces :

Section G	20 ^{ha} ,	1070
— H	243	, 3092
— I	1461	, 6860
Total	<u>1725^{ha},</u>	<u>1022^{ca}</u>

Si les mesures sont exactes, la superficie recouverte par les glaces était donc de 1,725 hectares 1022 centiares, *en 1810*.

Sans étendre de pareils calculs à tout le système glaciaire des Alpes françaises, il serait du moins facile, par la consultation des plans cadastraux de plusieurs communes, de déterminer la superficie totale occupée par les glaces dans un seul massif, comme celui du Pelvoux, par exemple, qui a fourni la plus grande partie des observations de la Société des Touristes du Dauphiné. Nous nous empressons d'ajouter que la valeur de ces recherches est naturellement subordonnée au degré d'exactitude des mesures faites par les géomètres préposés à la levée du plan cadastral. Il n'est pas sûr que la désignation de la nature des parcelles (glace, rochers, etc.) soit toujours bien précise. Enfin faudrait-il encore que toutes ces mesures eussent été faites à la même époque, en 1810 par exemple dans le groupe du Pelvoux, pour être utilement comparées à une nouvelle série de mesures.

La consultation du Cadastre n'est pas moins utile, au point de vue toponymique, pour la rectification des noms faussement attribués par les cartes à des lieux autrement dénommés par les indigènes. Au cours de cet été, l'autorité militaire avait fait prévenir les pâtres de

l'Alpe du Villar-d'Arène d'avoir à retirer leurs troupeaux des pâturages situés au-dessous du glacier de l'Homme, dans la direction duquel devaient être effectués des tirs au canon. Les bergers, désignant le glacier de l'Homme sous le nom de glacier du Tabuchet, ne se seraient pas conformés aux instructions publiées, si un vieil habitant du pays ne les avait prévenus de leur erreur, ou plutôt de leur exacte, mais dangereuse interprétation. Il est en effet naturel d'appeler glacier du Tabuchet un glacier d'où s'écoule le ruisseau du Tabuchet; quant au classique glacier du Tabuchet, il n'y a rien d'étonnant à ce qu'il porte le même nom; ces deux Tabuchets constituent en effet un même glacier, formé de deux branches s'écoulant dans deux directions opposées, séparées par une ligne de partage.

On voit par là quelle confusion règne dans la dénomination des glaciers de l'Oisans; et la même remarque pourrait s'appliquer à d'autres noms de lieux, cols, sommets, etc. Le nom de glacier de l'Homme est réservé par les indigènes à notre glacier du Bec. Enfin, pour eux, le glacier de la Plate des Agneaux devrait s'appeler glacier de la Casse-Déserte, et le nom de la Plate des Agneaux conviendrait mieux au glacier des Agneaux, etc. Mais il y a lieu de se demander s'il n'y aurait pas de plus grands inconvénients à modifier aujourd'hui des noms que toutes les cartes ont adoptés depuis longtemps, et en quelque sorte imposés aux touristes et souvent même aux indigènes.

BASSIN DE LA GUISSANNE
(OBSERVATIONS DE M. OFFNER)

Glacier du Monestier.

Des modifications importantes se sont produites depuis 1899 au front du glacier, au dire du guide Émile

Pic. Par suite du recul plus considérable sur la rive gauche, le front s'est déplacé et orienté dans la direction du Nord-Nord-Est au Sud-Sud-Est. La branche qui descend du col Tuckett s'écoule par un nouveau ruisseau glaciaire qui se jette sur la rive gauche du torrent de Tabuc. Il existe une puissante moraine médiane, due à la même branche.

Modifications observées le 2 septembre 1901 :

Rive droite :	R ₀	au glacier.	Décrue	12 mètres.
	R ₁	—	—	11 —
	R ₂	—	—	74 —
	R ₃	—	—	48 —
	R ₄	—	—	80 —
Rive gauche :	R ₀	—	—	45 —

En deux ans, ce glacier a reculé de 45 mètres.

Glacier du Casset.

Le glacier du Casset, par la régularité de son aspect, le beau développement de ses moraines latérales, constitue un appareil glaciaire classique, qui se prêterait bien à une étude détaillée. De plus, son accès est très facile, grâce à un chemin muletier qui a été tracé pour l'exploitation de la glace, dont on a continué l'extraction cette année.

La partie supérieure du glacier est séparée en deux branches inégales par une longue bande de rochers analogues aux Enfethores du glacier de la Meije. Un profond entonnoir de glace, au fond duquel on aperçoit le lit du glacier, se serait formé, d'après le guide Émile Pic, non loin de ces rochers, depuis 1899.

Le glacier est en pleine décomposition à sa partie inférieure, et son front, très irrégulier, forme une langue médiane nettement en avance sur les parties latérales.

Non loin de la rive gauche se trouve une grotte très profonde, dont le plafond très incliné est percé de larges ouvertures.

L'épaisseur moyenne de la glace sur la rive gauche et à la partie tout antérieure est de 1^m,50.

Le recul de la rive droite a déterminé la formation d'un torrent glaciaire, qui se jette sur la rive droite du ruisseau du Casset, affluent du Petit-Tabuc.

Parmi les repères placés en 1899, je n'en ai retrouvé qu'un seul, R₀ (rive gauche); sa distance au front du glacier accuse au moins un recul local.

BASSIN DU VÉNÉON

(OBSERVATIONS DU GUIDE J.-B. RODIER)

Glacier de la Bonne-Pierre.

Le repère placé au front du glacier sur la rive gauche a seul été retrouvé; le bloc qui le portait a été renversé, mais est resté touchant la glace. En l'absence d'autres indications, on peut en conclure, non sans quelque hésitation, que le glacier de la Bonne-Pierre est stationnaire. Le guide J.-B. Rodier dit qu'il aurait de la tendance à augmenter, bien que les mesures suivantes accusent une diminution d'épaisseur, non douteuse.

Partie moyenne du glacier :

Rive droite : Distance du point A au glacier, 55^m, 50 au lieu de 55 mètres en 1899.

Le n° 1 est descendu de 15 mètres.

— 2	—	18 —
— 3	—	25 —
— 4	—	21 —
— 5	—	16 —

Rive gauche : Distance du point B au glacier, 44 mètres au lieu de 40 mètres en 1899.

Le gonflement a cessé : la diminution d'épaisseur est de 0^m, 50 sur la rive droite, et de 4 mètres sur la rive gauche.

Glacier du Chardon.

Modifications constatées au front du glacier depuis 1899 :

Rive droite : (A) R ₁ au glacier. Recul constaté 5 mè.		
R ₂ perdu.		
R ₃ au glacier.	—	8 —
R ₄ —	—	10 —
R ₅ perdu.		
Rive gauche : (B) R ₆ au glacier.	—	21 —

Partie moyenne du glacier :

Alignement n° 1. — Rive droite : Distance du point A au glacier : 57^m, 50 au lieu de 56 mètres en 1899. Le seul repère placé à la surface du glacier est descendu de 5 mètres. — Rive gauche : Distance du point B au glacier : 52 mètres au lieu de 50 mètres en 1899.

Alignement n° 2. — Rive droite : Distance du point A au glacier : 30 mètres au lieu de 28^m, 50 en 1899.

Le n° 1 est descendu de 16 mè.		
— 2	—	17 —
— 3	—	20 —
— 4	—	12 —

Rive gauche : Distance du point B au glacier : 31 mètres au lieu de 30 mètres en 1899.

Il s'est formé à la surface du glacier, non loin de la rive droite, un ruisseau qui, après un parcours de 500 mètres, se perd dans la profondeur avant d'atteindre le front. Il atteint en certains points une largeur de 10 à

15 mètres, et descend à une profondeur de 20 et même 25 mètres, quand il atteint le lit du glacier.

Glacier de la Pilatte.

Modifications constatées au front du glacier depuis 1899 :

Rive droite : (A)	R ₁	au glacier.	Recul constaté	10 mètr.
	R ₂	—	—	12 —
	R ₃	—	—	30 —
	R ₄	—	—	15 —
(B)	—	—	—	15 —

Le glacier de la Pilatte s'amincit dans sa partie moyenne; au-dessus, il est plus tourmenté et les crevasses s'agrandissent. Dans la partie supérieure, séracs et crevasses sont plus nombreux; la glace vive ne paraît qu'en quelques points, la surface du glacier étant presque toujours recouverte de neige à la fin de la saison.

Partie moyenne du glacier :

Rive droite : Distance du point A au glacier : 151 mètres au lieu de 150 mètres en 1899.

Le n° 1	est descendu de	70 mètr.
— 2	—	65 —
— 3	—	25 —
— 4	—	10 —

Rive gauche : Distance du point B au glacier : 30 mètres au lieu de 28 mètres en 1899.

Les alignements placés sur le glacier accusent comme précédemment un mouvement de descente plus accentué sur la rive droite que sur la rive gauche.

Le gonflement constaté en 1899, qu'on pouvait croire précurseur d'une crue prochaine, a donc cessé pour les trois glaciers du Vénéon.

D'après le guide J.-B. Rodier, le *glacier des Étançons*, qui conduit à la Brèche de la Meije, a reculé d'environ 100 mètres dans l'espace de quatre à cinq ans; il est devenu très mince au-dessus de sa partie moyenne, et surtout vers le front du glacier. Le *glacier du Pavé* aurait au contraire une tendance à avancer, bien que ces deux glaciers se rejoignent à leur base.

BASSIN DE LA GYRONDE

(OBSERVATIONS DU GUIDE P.-A. BARNÉOUD)

Glacier du Sélé.

Ce glacier a reculé de 40 mètres depuis 1899.

Glacier Blanc.

Ce glacier a reculé de 40 mètres depuis 1899. La période de crue dans laquelle il se trouvait depuis quatorze ans est donc terminée, puisque, stationnaire de 1895 à 1899, il est maintenant en décrue manifeste.

Glacier Noir.

Ce glacier a reculé depuis 1899 de 3 mètres sur sa rive droite et de 41 mètres sur sa rive gauche, exposée au midi.

Il y a un abaissement sensible à gauche; les crevasses sont plus nombreuses à droite. Quelques-unes atteignent 500 mètres de longueur sur 20 mètres de profondeur, à l'entrée du second plateau.

Glacier de Séguret-Foran ou de l'Eychauda.

Ce glacier a reculé de 12 mètres sur sa rive droite et de 20 mètres sur sa rive gauche, exposée au midi.

Les mesures concernant ces quatre derniers glaciers ont été effectuées dans la première quinzaine d'octobre par

le guide Barnéoud; peut-être n'y-a-t-il pas lieu de compter sur leur parfaite exactitude.

B. — MASSIF DES AIGUILLES DE CHAMBEYRON

Glaciers de Marinet.

(OBSERVATIONS DE M. W. KILIAN)

Une nouvelle visite faite au mois d'août 1901 à cet intéressant groupe de glaciers a permis de prendre une série de 12 vues photographiques très précieuses et de faire un certain nombre d'intéressantes remarques. Ces données tirent leur intérêt principal de la comparaison qu'elles permettent de faire avec celles que nous avaient fournies des visites antérieures (1893 et 1895) et que nous avons déjà publiées¹, en même temps que des indications dues à M. André Antoine, de Maurin (Basses-Alpes), en 1894 et en 1900. Elles peuvent également être utilement confrontées avec une photographie de ces mêmes glaciers prise en 1899, et qui, malgré la présence et la distribution différente d'une petite couche de neige, est fort instructive.

Les appareils glaciaires connus sous la dénomination collective de *glaciers de Marinet* occupent une suite de dépressions rocheuses ouvertes vers le Nord et le Nord-Ouest, sur le versant français de la chaîne frontière des Aiguilles de Chambeyron, dans la haute vallée de l'Ubaye. Les plus orientaux d'entre eux, que reproduit la photographie ci-contre, peuvent être cités comme des exemples tout à fait grandioses de la forme *en cirque*, récemment définie et décrite comme indissolublement liée à l'existence des glaciers par

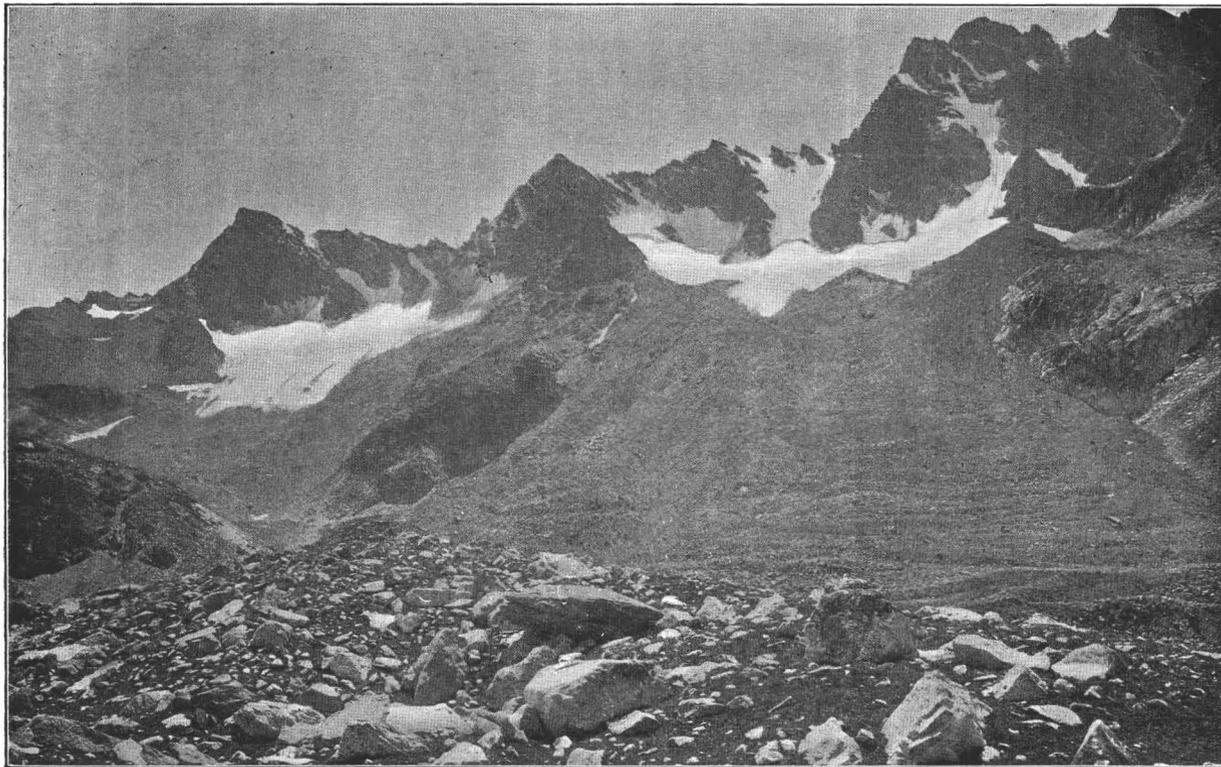
1. *Annuaire de la S. T. D.*, tomes XVIII, XX et XXV, et en outre : W. KILIAN et G. FLUSIN, *Études glaciaires* (avec 2 pl. en phototypie), dans les *Annales de l'Université de Grenoble*, t. XII, p. 884 (1900).

Col de
Marinet

Petit glacier
ou glacier du Brec de l'Homme

Cirque oriental des
Aiguilles de Chambeyron

Aiguille de
Chambeyron.



Les glaciers de Marinet, vus de face, des lacs de Marinet, photographie de M. W. Kilian (août 1901).

M. Ed. Richter, et dont MM. P. Lory et de Martonne ont, depuis, publié et fait connaître des exemples nombreux dans les Alpes françaises et dans les Karpathes. Les cirques de Marinnet possèdent la configuration caractéristique des cirques : une sorte de creux central se prolongeant en avant par un palier brusquement coupé par la pente, et bordé de chaque côté par un promontoire rocheux assez comparable aux bras d'un fauteuil.

Quoique les cartes d'État-Major figurent, dans cette région, une bande de glace continue, on distingue aujourd'hui *plusieurs glaciers entièrement séparés*, lorsqu'on examine le versant français du massif des Aiguilles de Chambeyron :

1° Au Sud et au-dessus même du col de Marinnet, un névé indique la place d'un *glacier* aujourd'hui *disparu*, dont les moraines encombrant encore le cirque rocheux ;

2° Un glacier situé un peu plus loin porte le nom de *glacier du Brec de l'Homme* ou *Petit glacier* ;

3° Un autre existe au pied Nord-Est de l'Aiguille de Chambeyron (*Cirque oriental des Aiguilles de Chambeyron*), et pousse ses moraines jusqu'au lac à demi comblé dont nous avons parlé en 1895 ;

4° Enfin, de l'autre côté d'un large promontoire rocheux et à l'origine de la Combe de Chillol, se placent les petits *glaciers de Chillol* et, plus au Sud-Est encore, le *glacier de Chauvet*.

Les glaciers de Chillol ont presque disparu et se réduisent à quelques placages de glace très inclinés ; la forme en cirque ne s'y est pas développée.

Quant au glacier de Chauvet, que nous avons signalé antérieurement d'après M. André Antoine (qui l'avait aperçu du col de Girardin), et que nos courses de 1901 nous ont permis d'examiner de près, il est situé dans une dépression tribulaire du vallon de Chauvet et près de l'extrémité Ouest du groupe des Aiguilles de Cham-

beyron ; son abord est assez difficile ; il est formé de deux parties : la première, la plus septentrionale, située sur le flanc Sud des Aiguilles, est encaissée, assez épaisse ; son bassin d'alimentation, à parois très inclinées et assez étendu, montre une rimaye (*Bergschrund*) très accentuée ; cette portion du glacier présente, dans sa partie inférieure, une disposition en éventail très nette de ses crevasses radiales et, en outre, des crevasses transversales. L'autre partie du glacier de Chauvet, située à droite et au Sud de la précédente (à gauche pour l'observateur placé dans la vallée de l'Ubaye), est presque entièrement *suspendue*. Aucun de ces glaciers ne franchit vers l'aval la petite gorge qui resserre, à sa partie supérieure, le vallon de Chauvet ¹.

La comparaison de la vue de 1899 (que nous avons publiée) avec celle de 1901, qui est jointe au présent travail, permet de se rendre un compte exact des modifications *saisissantes* qui se sont produites, pendant l'espace de deux ans, dans ces glaciers. Notre photographie de 1901, prise d'une petite éminence qui domine au Nord le fond des lacs de Marinét, donne une vue de face du Petit glacier de Marinét, ou glacier du Brec de l'Homme, et du cirque oriental des Aiguilles de Chambeyron, région qui forme la portion gauche de la vue de 1899, cette dernière ayant été prise de biais et d'un point situé plus à l'Est, à peu de distance du col de Marinét. La portion droite (glacier de l'Aiguille de Chambeyron ou Grand glacier) de la vue de 1899 n'est que partiellement comprise dans le champ de notre photographie de 1901. En revanche, cette dernière s'étend plus loin du côté gauche et montre les moraines du glacier

1. Il existe dans ce vallon, sur son flanc Nord, une station de *Leontopodium alpinum* Cass. (Edelweiss) tout à fait remarquable par la grande taille qu'y atteignent ces plantes et par leur extrême abondance.

aujourd'hui disparu, situé à l'Est du glacier du Brec de l'Homme, entre ce dernier et le col de Marinnet, et dont nous avons parlé plus haut.

La simple inspection de ces images permet de constater les *changements considérables* qui se sont effectués depuis deux ans dans ces glaciers : le glacier du Brec de l'Homme et le cirque oriental des Aiguilles de Chambeyron étaient en effet, en 1899, limités par un promontoire rocheux, mais réunis par un remplissage de glace *continu* ; ils ne constituaient que deux « golfes » d'un seul et même glacier ; *ils sont aujourd'hui séparés* et forment *deux glaciers distincts* dont le promontoire séparatif est devenu une croupe rocheuse continue. On remarque notamment, entre le premier et le second cirque (en venant du col de Marinnet et en se dirigeant vers l'Aiguille de Chambeyron), un grand espace non glacé (d'une largeur d'environ 200 mètres), qui n'existait pas en 1899. Les névés du bassin de réception sont un peu plus abondants en 1901, mais la partie principale du glacier, divisée en deux, s'est notablement réduite ; la glace de la branche Est (portion gauche de la photographie) est visible moins bas qu'en 1899, et les parties recouvertes par des cailloutis morainiques ont subi un notable *affaissement* résultant de la fusion de la glace sous-jacente. Cela est surtout frappant lorsqu'on compare l'état actuel avec ce qu'il était lors de notre première visite en 1893, époque à laquelle la glace cachée par des moraines allait butter contre la croupe rocheuse de quartzites située sur le bord gauche de notre vue de 1901 et la recouvrait en partie ; depuis lors, la dépression qui sépare le rocher du glacier s'est notablement creusée et ce dernier s'est *retiré en s'affaissant*. Quant au Grand glacier ou glacier de l'Aiguille de Chambeyron, sa portion Est, avec ses couloirs de névés, a seule subsisté, et se rattache maintenant au bord Ouest du cirque orien-

tal des Aiguilles ; sa portion Ouest a disparu presque entièrement, et n'est plus indiquée que par quelques petits névés insignifiants. Nous sommes heureux de constater que ces données, contrôlées par un examen sur place, confirment de la façon la plus complète les indications que nous avait fournies M. André Antoine, de Maurin, et que nous avons publiées antérieurement.

Ajoutons que lorsqu'on examine de près les glaciers du Brec de l'Homme et du cirque oriental, on peut faire une série d'autres remarques intéressantes.

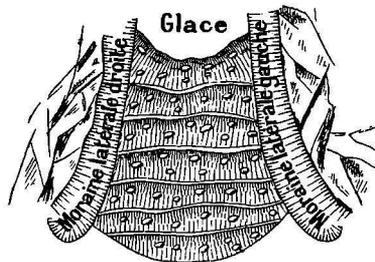


Fig. 1 — Schéma de la disposition des moraines aux glaciers de Marinét.

Les moraines qui dominent dans les parties inférieures sont bordées d'une bande (1^m,50 à 2 mètres) de roche fraîche, polie, récemment découverte et non encore patinée par les intempéries, qui indique une *baisse* récente du niveau de ces moraines, c'est-à-dire une *ablation* de leur substratum glacé.

La disposition de ces moraines elles-mêmes offre en outre, dans la partie inférieure du glacier qui occupe le cirque oriental de l'Aiguille de Chambeyron, glacier dont nous donnons une photographie spéciale (p. 363), une disposition régulière qui mérite d'attirer l'attention et que cette photographie met bien en évidence. On remarque (fig. 1) d'abord des *moraines latérales* très nettes, en forme de « vallum », qui limitent à droite et



Aiguille de Chambeyron et glacier du cirque oriental de Chambeyron ; la partie rocheuse, moutonnée, dans la moitié droite de la photographie, était autrefois occupée par un glacier (Grand glacier, ou glacier de l'Aiguille de Chambeyron) ; photographie de M. W. Kilian (août 1901).

à gauche l'amas de débris morainiques qui constituent la portion centrale du glacier. Quant à cette partie médiane, les matériaux y sont disposés en une *série de vallums* ou petites crêtes *parallèles* en demi-cercle, concentriques et séparés par de petites dépressions (fig. 1 et 2) également semi-circulaires et parallèles entre elles, qui s'arrêtent à la rencontre de la moraine latérale. Nous avons pu compter jusqu'à vingt de ces petites crêtes ;

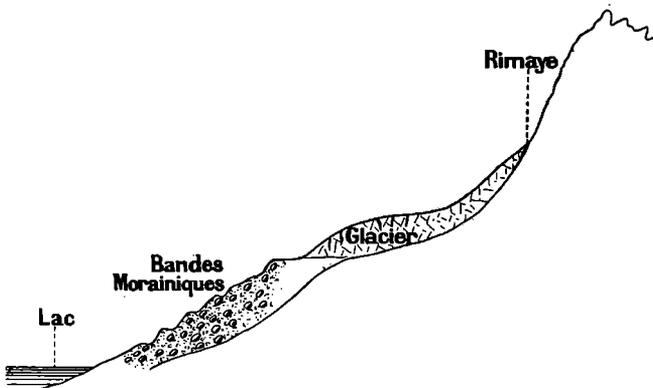


Fig. 2. — Profil du glacier du cirque oriental des Aiguilles de Chambeyron.

la plus inférieure est un peu plus accentuée et joue le rôle d'une *moraine frontale*. Cette disposition s'explique par l'ablation intense qui s'est opérée dans les glaciers de Marinnet, en même temps que par le recul particulièrement rapide que nous avons indiqué plus haut ; les petites bandes ou crêtes morainiques représentent autant de stationnements du glacier ; ce sont d'*anciennes moraines frontales*, tandis que les parties déprimées correspondent à des périodes de recul rapide. L'écoulement des eaux de fonte s'est fait par infiltration à travers les matériaux rocheux de ces anciennes moraines, et n'a pas altéré la disposition de leur surface.

Des *crevasses* transversales et quelques crevasses mar-

ginales, analogues à celles que nous avons décrites en 1894, s'observent toujours dans la partie découverte du glacier (intérieur du cirque).

Quoique la glace descende encore assez bas sous sa couverture de débris morainiques, il est manifeste que cette dernière s'est considérablement affaissée depuis sept ans, et nous ne croyons pas que la glace s'étende aujourd'hui sous les cailloux jusqu'au bas de la pente dont le lac occupe le pied et dont nous venons de décrire les crêtes multiples et régulières.

Ici encore des bandes, d'une longueur de 1^m,50 et 2 mètres, de roche fraîchement découverte et polie, tranchant par leur coloration sur les portions voisines patinées par une longue exposition à l'air, indiquent nettement que les *progrès de l'ablation* ont été considérables dans ces dernières années; cette conclusion est corroborée par l'apparition de saillies arrondies de quartzites autrefois invisibles.

En résumé, les dernières observations montrent que les glaciers du groupe de Marinet ont atteint une phase de *décru particulièrement rapide* et très intéressante. Il nous paraît très probable que cette phase est définitive et que ces glaciers sont *destinés à disparaître* entièrement, comme l'ont fait ceux qui existaient dans le Creux de Roure, près de la Testa di Cialancion ¹, ainsi

1. Les traces de la *disparition récente de glaciers importants* sont nombreuses dans les Alpes françaises.

Dans la Haute-Ubaye, entre la Testa di Cialancion et la Spera, sur la frontière italienne, l'emplacement d'un ancien glacier est très reconnaissable; il est indiqué par la présence d'une *dépresseion centrale* remarquablement nette, de chaque côté de laquelle partent des moraines latérales; en se dirigeant vers le vallon de Mary, on observe la moraine frontale de ce glacier, constituée par des entassements de blocs de quartzites et d'anagénites infratriasiques.

Il nous paraît intéressant de signaler également le beau *cirque* de



PIC ET GLACIER DE LA MEIJE

que celui dont les traces sont encore si fraîches près du col de Marinet.

Le retrait qui s'est manifesté, depuis 1895, sur le front du glacier du cirque oriental de Chambeyron, peut être évalué à 510 mètres au moins.

L'importance que possédaient, à une époque géologique assez rapprochée, les glaciers du massif des Aiguilles de Chambeyron, et sur laquelle nous avons déjà insisté, est attestée, d'une façon spécialement convaincante, par des blocs de marbre rouge jurassique que l'on rencontre encore jusque tout près du village de Maurin, qui proviennent de l'Aiguille de Chambeyron et qui ont été transportés par la glace jusque sur les bords de l'Ubaye.

Il existe peu d'exemples aussi frappants de la déchéance et de la réduction subies par nos glaciers alpins. Le sort des glaciers de Marinet, les plus méridionaux des Alpes françaises, qui ont, croyons-nous, atteint *la dernière phase de leur existence*, celle qui précède la disparition définitive, est très instructif; il nous permet de prévoir la réduction réservée aux autres glaciers du Dauphiné, auxquels l'importance de leurs bassins d'alimentation et des névés qui y sont accumulés a permis de supporter jusqu'à présent, sans trop de dommages, les périodes critiques, et qui n'ont, pour la plupart, pas encore atteint actuellement la phase de diminution rapide dont nous venons de décrire les effets.

La disparition finale qui semble s'annoncer n'a du reste rien que de très naturel lorsqu'on envisage l'évolution des appareils glaciaires pendant les périodes préhistoriques. L'histoire géologique des glaciers alpins montre en effet que depuis le début de l'époque pleistocène (quaternaire), malgré leurs crues et leurs retours

Combeynot, en face de l'hospice du Lautaret (Hautes-Alpes), que le glacier semble n'avoir abandonné que d'hier, et qui peut être cité comme un exemple classique de topographie glaciaire.

successifs (*glaciations*) séparés par des phases interglaciaires de réduction et de retrait considérables, et malgré les oscillations de grande ou de petite amplitude dans lesquelles se décomposent ces déplacements, ces glaciers tendent à une diminution constante. *Aucun de leurs retours offensifs (glaciations) n'a atteint les limites de celui qui l'avait précédé*; le résultat ultime de ce processus sera nécessairement la disparition des glaciers des Alpes; cette déchéance se manifestera en premier lieu pour les appareils glaciaires les moins importants et les moins abondamment alimentés de la chaîne, c'est-à-dire pour les glaciers dauphinois.

COMMISSION FRANÇAISE DES GLACIERS

REVUE DE GLACIOLOGIE

COMMISSION FRANÇAISE DES GLACIERS

REVUE DE GLACIOLOGIE

(PAR M. CHARLES RABOT)

Depuis quelques années la littérature glaciaire est devenue singulièrement abondante. Dans ces conditions, il nous paraît utile de passer en revue les travaux les plus récents et les plus importants. Nous espérons ainsi épargner aux spécialistes de longues recherches bibliographiques, et présenter à nos collègues un tableau de l'activité déployée, principalement à l'étranger, dans une branche de la science qui nous intéresse particulièrement.

Cette revue est divisée en trois chapitres : le premier comprend les généralités, c'est-à-dire les études sur les phénomènes physiques et géologiques qu'il est préférable de grouper ; le second résume les explorations dans les divers massifs glaciaires du globe et signale tous les phénomènes intéressants dont nous avons eu connaissance ; le troisième chapitre est consacré aux observations sur les variations de longueur des glaciers.

I

PROGRESSION DES GLACIERS — PHÉNOMÈNES MORAINIQUES — DÉBACLES GLACIAIRES — ÉBOULEMENT DES GLACIERS

Depuis une quinzaine d'années, une renaissance des études glaciaires s'est produite, principalement en Alle-

magne, énergiquement encouragée par le Club Alpin Allemand-Autrichien. Cette puissante association, qui a toujours manifesté des tendances scientifiques, a compris que, dans l'état actuel des Alpes, les ascensions et les récits de courses n'offrent plus qu'un intérêt secondaire, et que l'étude des phénomènes dont les montagnes sont le théâtre doit devenir la principale préoccupation des Sociétés alpines. Le Club Alpin Allemand-Autrichien a créé dans son sein un comité scientifique, composé de savants dont les noms font autorité, et mis à sa disposition un budget annuel de 11,000 francs. Grâce à cette subvention, ce comité confie chaque année à des naturalistes éprouvés des missions à l'effet d'entreprendre des recherches techniques. C'est ainsi que, en 1888 et 1889, le professeur S. Finsterwalder, et en 1891, 1893 et 1895, les docteurs A. Blümcke et H. Hess, ont pu poursuivre l'étude systématique des glaciers de Vernagt et de Guslar, et que, de 1893 à 1898, MM. A. Blümcke et H. Hess ont exécuté des recherches analogues sur le glacier de Hintereis.

Les résultats obtenus par ces savants ont été publiés dans deux superbes fascicules, accompagnés de magnifiques cartes (au 10,000^e) des glaciers mis en observation¹. Bien que ces mémoires remontent à 1897 et 1899, ils doivent être signalés au début de cette revue de glaciologie, en raison de l'influence considérable qu'ils ont exercée sur les études glaciaires et du développement qu'ils ont donné à ces recherches.

1. Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. u. Ö. Alpenvereins. I, 1. *Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888 und 1889*, von D^r S. FINSTERWALDER. Dazu ein Anhang: *Die Nachmessungen in den Jahren 1891, 1893 und 1895*, von D^r A. BLÜMCKE und D^r H. HESS, Graz, 1897. — I, 2. *Untersuchungen am Hintereisferner*, von D^r ADOLF BLÜMCKE und D^r HANS HESS, München, 1899.

A la suite de leurs campagnes scientifiques, MM. Finsterwalder, Blümcke et Hess ont formulé des théories nouvelles sur la progression des glaciers. En raison de leur nature spéciale, et des longs développements qu'elles entraîneraient, elles ne peuvent être résumées ici.

MM. A. Blümcke et H. Hess se sont livrés à des expériences très neuves sur le Hintereisferner. Afin de poursuivre une étude systématique de l'ablation et de la vitesse d'écoulement, ils ont exécuté des forages dans le glacier, et, dans les trous ainsi creusés, ont inséré, à diverses profondeurs, des morceaux de bois lestés et numérotés dont la réapparition sera soigneusement surveillée. C'est, en somme, l'application des expériences de flottage marin à l'étude des glaciers. En 1899, ces naturalistes ont réussi à percer l'extrémité inférieure du Hintereisferner dans toute son épaisseur (84^m, 5 et 67 mètr.). L'année dernière (1900), ils ont exécuté des forages, plus en amont, jusqu'à la profondeur de 142 mètres. Tous les trous, une fois creusés, se rétrécissaient rapidement à 8 mètres environ en dessous de la surface. De ce fait, MM. Blümcke et Hess croient pouvoir conclure que la vitesse maximum d'écoulement se rencontre, non point à la surface du glacier, mais dans une couche située à une profondeur de 8 mètres environ ¹.

Tout récemment, notre collègue M. Joseph Vallot a exécuté, de 1891 à 1899, une série continue d'observations sur la Mer de Glace de Chamonix, dans le genre de celles poursuivies antérieurement sur les glaciers de l'Ötztal. Les résultats récemment publiés sont particulièrement intéressants ².

1. Berichte über die wissenschaftlichen Unternehmungen des D. u. Ö. Alpenvereins. XXVIII : Dr. A. BLÜMCKE und Dr. H. HESS, *Tiefbohrungen auf dem Hintereisferner*, in *Mitteilungen des D. u. Ö. A. V.*, 1901, n° 23.

2. *Expériences sur la marche et les variations de la Mer de Glace*, in *Annales de l'Observatoire météorologique, physique et glaciaire du Mont-Blanc*, I, IV et V, Paris, 1900.

Les nivellements effectués par M. Vallot sur quatre profils transversaux de la partie inférieure du glacier, pendant huit ans, ont mis en évidence les faits suivants : 1° La vitesse horizontale, c'est-à-dire en projection plane, d'un glacier, ne croît pas à mesure que l'on se rapproche de l'extrémité inférieure, comme l'avait cru Tyndall, mais elle varie avec la largeur, la profondeur et la pente du lit; 2° La composante verticale de la vitesse, qui est la différence de niveau parcourue dans l'unité de temps, est étroitement liée à la pente superficielle du glacier; 3° Contrairement aux expériences de Tyndall, il ne se produirait point de ralentissement hivernal, ou du moins il est très faible; 4° La courbe d'avancement d'un profil transversal n'est pas une parabole. Le glacier avance pour ainsi dire tout droit, retenu brusquement par les rives; 5° Les veines noire et blanche de la Mer de Glace se comportent pareillement à ce point de vue, bien qu'elles soient inégalement influencées par la chaleur; 6° Le bombement fréquent de la partie centrale du glacier est dû à l'affaissement des bords, causé par la fusion de la glace qui y séjourne beaucoup plus longtemps exposée au soleil, en raison de la vitesse bien plus faible du bord du glacier.

D'après M. J. Vallot, toute action de la chaleur doit être rayée des causes de la progression des glaciers. Celle-ci ne peut être attribuée qu'au glissement de la masse produite par la pente, et à la poussée des masses glaciaires qui se trouvent en amont.

Si quelques-uns des résultats obtenus par M. Vallot concordent avec ceux acquis ailleurs, pour d'autres il y a divergence complète, notamment en ce qui concerne le ralentissement hivernal. A notre avis, il faudrait chercher la raison de ces contradictions dans la nature essentiellement variable de la matière soumise à l'observation, et dans les modifications d'état qu'elle doit

éprouver suivant les conditions climatologiques et topographiques.

Concernant la progression des glaciers, signalons en outre deux mémoires, l'un du professeur E. von Drygalski ¹, l'autre du professeur Harry Fielding Reid ².

La stratification et la structure veinée (*Bänderung*) ont fait l'objet de plusieurs travaux récents. M. Harry Fielding Reid a constaté, sur le glacier de Forno et sur le glacier inférieur de l'Aar, que la stratification de l'extrémité supérieure du glacier était en relation avec les veines bleues de l'extrémité inférieure, et que ces apparences passent insensiblement de l'une à l'autre. Le D^r Hans Hess, sans avoir connaissance du travail de son confrère américain, est arrivé à la même conclusion que lui ³. Le professeur Cramer s'est occupé de cette question dans ses rapports avec le mouvement d'écoulement. La structure parallèle serait, d'après ce naturaliste, une structure feuilletée (*Blätterung* par opposition à *Bänderung*) dérivant de l'entassement progressif des couches de neige dans le réservoir, et de leur séparation par des couches de poussière déposées dans l'intervalle des chutes. Cette stratification empêcherait les grains du glacier de s'accroître d'une couche à l'autre, et, d'autre part, leur cohésion serait faible sur les bords de ces surfaces séparatives. Il en résulterait que le mouvement du glacier serait dû à un glissement des différents lits les uns sur les autres ⁴. Il y a déjà plusieurs années,

1. *Streichen und Bewegung des Eises*, in *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, I, 2, pp. 37-49, Stuttgart.

2. *De la progression des glaciers, leur stratification et leurs veines bleues*, in *Compte-rendu du VIII^e Congrès géologique international, 1900*; Paris, 1901.

3. *Ueber den Zusammenhang zwischen Schichtung und Bänderung der Gletscher*, in *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1902, I, pp. 23 et 24, et *Einiges über Gletscher*, in *Centralblatt für Mineralogie*, 1902, n^o 8.

4. *Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*, 1902, II, pp. 103-107.

cette théorie a été formulée par un glaciériste suédois, M. Axel Hamberg (*Om glacierernas parallelstruktur*, in *Geol. Fören. i Stockholm Förhandl.*, XIX, 7, 1897); plus loin nous verrons qu'au Spitsberg les observations de M. Garwood viennent à l'appui de cette hypothèse.

Ces diverses questions pourront être élucidées grâce à un phénomène qui s'est produit, l'an dernier (1900), dans les Alpes orientales. Le 10 et le 11 mars 1901, une pluie de poussière rouge s'est, comme on sait, abattue sur l'Europe et a coloré très vivement toutes les neiges du Tirol. La couche de l'hiver 1900-1901 est devenue ainsi très aisément discernable : il sera donc désormais facile de suivre son évolution à travers le glacier ¹.

*
* *

L'étude des moraines superficielles a fait récemment un progrès notable. Des observations de MM. Finsterwalder, Blümcke et Hess sur les glaciers de Vernagt, de Hintereis, de Kesselwand et de Guslar ont montré qu'elles sont engendrées par l'émersion des moraines internes ². Depuis longtemps, du reste, les explorateurs arctiques avaient indiqué cette origine probable pour ces matériaux, en raison de la fréquence des pierres à angles arrondis dans les moraines des glaciers polaires. Le professeur Finsterwalder a, d'autre part, montré que la moraine médiane dérive de la moraine interne, laquelle provient de la moraine inférieure ³.

1. *Globus*, LXXX, 9, 5 sept. 1901, p. 145.

2. Gletscherkonferenz zu Vent : *Protokoll über die zweite Konferenz von Gletscherforschern welche auf Einladung von Prof. FINSTERWALDER und Prof. RICHTER zusammentrat*. Vienne, 1902, Verlag des D. u. Ö. Alpenvereins, p. 7.

3. *Ueber die innere Struktur der Mittelmoränen*, in *Sitzungsberichten der mathem.-phys. Classe der kgl. bayer. Akademie der Wissenschaften*, XXX, 1900, 3 ; 1901.

La nomenclature de ces dépôts est très confuse; aussi la Conférence des glaciéristes, réunie à Gletsch en 1899, a-t-elle rendu service en adoptant un vocabulaire morainique. Comme cela arrive toujours en pareil cas, cet essai de réglementation a soulevé des critiques, entre autres de la part du docteur August Böhm von Böhmersheim. Ce géologue vient de publier un volumineux mémoire¹ qui est appelé à rendre de très grands services : son travail constitue un tableau de l'évolution de la science morainique, et renferme une bibliographie de 650 numéros relatifs à cette question.

Malgré les réserves émises par notre collègue autrichien, nous estimons que la tentative de coordination et d'ordre faite par la Conférence des glaciéristes doit être suivie. Aussi engageons-nous tous nos confrères à adopter cette terminologie, reproduite ci-après² :

Moraines, *Moränen*, *Moraines*,

se divisant en :

A. Moraines mouvantes. *Bewegte Moränen. Moving Moraines*,
qui se subdivisent en :

I. Moraines superficielles. *Obermoränen. Surface Moraines*,
elles-mêmes subdivisées en :

1° Moraines latérales. *Seitenmoränen. Lateral Moraines*,
2° Moraines médianes. *Mittelmoränen. Medial Moraines* ;

II. Moraines internes. *Innenmoränen. Internal Moraines* ;

III. Moraines inférieures. *Untermoränen. Basal Moraines*,
et en :

B. Moraines déposées. *Abgelagerte Moränen. Deposited Moraines*,
qui se subdivisent en :

I. Moraines-remparts. *Wallmoränen. Dumped Moraines*,
elles-mêmes subdivisées en :

1. D^r AUGUST BÖHM Edler von BÖHMERSHEIM, *Geschichte der moränenkunde*, in *Abhandlungen der k.k. Geographischen Gesellschaft in Wien*, III, 4, 1901 ; Vienne, 1901. Un vol. grand in-8 de 334 pages.

2. E. RICHTER, *Die Gletscherkonferenz im August 1899*, in *Petermann's Mitteilungen*, XLVI, 1900, p. 77.

1° Moraines longitudinales. *Längsmoränen. Longitudinal Moraines*,

2° Moraines marginales. *Randmoränen* ou *Endmoränen. Border Moraines* ;

ce dernier groupe comprenant deux sections, qui sont :

a. Moraines riveraines. *Ufermoränen. Flank Moraines*,

b. Moraines frontales. *Stirnmoränen. Terminal Moraines* ;

II. Moraines de fond. *Grundmoränen. Ground Moraines*,
elles-mêmes subdivisées en :

1° Moraines profondes. *Grundmoränendecke. Ground Moraines*,

2° Drumlins. *Drumlins. Drumlins*.

*
* *

Concernant les actions qu'exercent les glaciers sur le sol, on doit signaler le beau mémoire du professeur E. Richter : *Geomorphologische Untersuchungen in den Hochalpen* ¹. Le savant glaciériste y étudie la formation de ces niches concaves situées sous les crêtes des montagnes, fermées en arrière et sur les flancs par des murailles abruptes cintrées, ouvertes devant et généralement au-dessus d'un à-pic. Dans les pays de langue allemande, on leur donne le nom de *Kahren* ; en Norvège, où elles sont très abondantes, celui de *botn* ; en France, nous employons le terme de *cirque*, qui prête à des confusions. Ce vocable est en effet aussi bien usité pour désigner de grands amphithéâtres, comme ceux de Gavarnie ou des Diablerets, que des cirques de petites dimensions, des niches, ressemblant à une gigantesque marmite de géants complètement égueulée sur une des faces. Le terme *cross*, emprunté au patois dauphinois et employé par nos montagnards pour désigner ces formes du terrain très fréquentes en Dauphiné,

1. *Ergänzungsheft* n° 132 des *Petermann's Mitteilungen*, 1900.

devrait être adopté de préférence. M. Richter démontre que les *Kahren* ou *crocs* sont l'œuvre des anciens glaciers ayant agi par érosion. La glaciation des crêtes transforme sur leurs flancs les rigoles d'écoulement et les entonnoirs en *Kahren* contigus les uns aux autres ; à chaque *Kahre* correspond un autre petit glacier indépendant.

Dans un compte-rendu du mémoire de M. Richter (*Les cirques de montagnes*, in *Revue des Alpes dauphinoises*, III, 9, 15 mars 1900, Grenoble), M. P. Lory signale quelques-unes des *Kahren* les plus caractéristiques des Alpes dauphinoises, notamment du Dévoluy. Le fond des cirques du Dévoluy est généralement compris entre 1,960 et 2,100 mètres. Dans cette région, la limite des neiges persistantes, lors de la dernière extension des glaciers, devait donc être voisine de 2,000 mètres.

*
* *

Généralement les glaciers sont considérés comme des agents géologiques extrêmement lents. Cette conception de leur rôle dans la dynamique externe du globe repose sur une connaissance incomplète des phénomènes qu'ils engendrent. Les glaciers exercent, en effet, des actions d'érosion et de transport extrêmement brusques et très puissantes, par les débâcles et les éboulements. L'importance de ces phénomènes a été jusqu'ici très méconnue ; aussi doit-on louer M. Kuss, inspecteur des Eaux et Forêts, d'avoir consacré une notice à ces accidents¹. Les débâcles sont beaucoup plus fréquentes

1. Ministère de l'Agriculture, Administration des Eaux et Forêts. Exposition universelle internationale de 1900 à Paris. Restauration et conservation des terrains en montagne. *Les torrents glaciaires*, par M. Kuss, inspecteur des Eaux et Forêts. Paris, Imprimerie Nationale, 1900.

qu'on n'est porté à le croire. M. Kuss rapporte que quelques semaines après la catastrophe de Saint-Gervais, le 15 août 1892, le ravin des Pèlerins, près de Chamonix, émit une trombe d'eau, de graviers et de galets sortie du glacier des Bossons. Une pareille crue passagère se produirait, paraît-il, tous les quatre ou cinq ans, plus ou moins forte ¹.

Parmi les débâcles récentes, signalons celles du Tunsbergdal (massif du Jostedalbræ en Norvège). Chaque année, de 1896 à 1900, ce glacier donne naissance à une inondation engendrée par la rupture d'une poche d'eau qui s'établit au confluent du glacier principal et d'un affluent. Cet accident est la conséquence de la décroissance qu'éprouve actuellement le glacier de Tunsbergdal ².

Les éboulements sont plus rares. Depuis celui de l'Altels, on n'en a enregistré qu'un seul important, produit par le décollement d'une partie du glacier de Rossboden (Simplon), le 19 mars 1901. Animée d'une très grande vitesse, la masse de glace en mouvement parcourut un vallon long de 3 kilomètres environ, arasant dans sa course d'anciennes moraines, et détruisant tout sur son passage. L'avalanche ne s'arrêta qu'au village d' Eggen, en formant un énorme monticule et en s'étalant en un cône de déjection dans la vallée suivie par la route du Simplon. Une surface de 67 hectares fut recouverte d'une couche de glace et de pierrailles dont la puissance atteignait en certains points 14 à 15 mètres. Deux personnes ont trouvé la mort dans cette catastrophe ³.

1. *Les torrents glaciaires*, p. 42.

2. J. REKSTAD, *Opædæmning ved Tunsbergdalsbræen i Sogn*, in *Naturen*, XXX, 3 mars 1901, Bergen. Résumé in *La Géographie*, IV, 2^e semestre 1901, p. 459.

3. Voir l'article du professeur RICHTER, in *Geographische Zeitschrift* (XVIII, 8, 1901); celui du D^r Coaz dans le journal *Der Bund*, de Berne

II

EUROPE

FRANCE. — Jusqu'ici il n'a été publié aucune monographie et aucune carte à grande échelle d'un glacier français. Au point de vue scientifique, la plupart de nos glaciers, sauf ceux du Mont-Blanc et quelques-uns de ceux du Pelvoux, sont absolument inconnus. Les seuls récents travaux glaciaires concernant les montagnes de notre pays sont : le mémoire de M. J. Vallot dont il est rendu compte p. 373 ; l'ouvrage de M. Kilian concernant les variations des glaciers du Pelvoux (voir p. 401), et l'étude de M. Kuss sur les débâcles glaciaires (voir p. 379).

TIROL. — Dans aucune autre partie des Alpes l'étude scientifique des glaciers n'est poursuivie avec plus de zèle. Dans cette branche de la science, l'activité des naturalistes allemands et autrichiens est absolument remarquable.

Dans le massif de l'Ötztal, notamment dans le Fendertal, deux grands glaciers ont été l'objet de monographies et de levés à grande échelle (10,000^e) : le Vernagtferner et le Hintereisferner¹. En 1898, 1899 et 1900, nous annonce le professeur Sieger, le docteur A. E. Forster a exécuté un travail semblable pour le glacier de Zemmgrund (Zillertal), travail qui n'est point encore publié. Enfin la glaciation dans le massif du Sonnblick a été soigneusement étudiée par le docteur Macháček : une partie seulement des résultats qu'il a obtenus est connue².

(n^{os} 170, 171, 173, 174, juin 1901) ; *l'Éboulement de Rossboden*, in *La Nature*, n^o 1494, 11 janv. 1902, Paris.

1. Pour les titres, voir la note de la p. 372.

2. *Zur Klimatologie der Gletscherregion der Sonnblickgruppe*, in *Jahres-Berichte des Sonnblick-Vereines für das Jahr 1899*.

Dans les Pré-Alpes calcaires, le professeur Hans Crammer a poursuivi pendant plusieurs années l'observation méthodique de la petite coupole glaciaire de l'Uebergossene Alp. Enfin une carte au 10,000^e du Karlseisfeld, le petit glacier qui couvre le versant Nord du Dachstein, a été levée par le colonel baron von Hübl en août 1899 et publiée par la Société de Géographie de Vienne¹. Cette carte est une merveille de relief. En 1840, le regretté Friedrich Simony exécuta le premier levé de ce glacier, et de 1849 à 1890, il l'observa constamment. Pour continuer cette œuvre, la Société de Géographie de Vienne fit entreprendre en 1897 une nouvelle carte de cette nappe cristalline par le colonel M. Groller von Mildensee², et en 1899 le levé signalé plus haut. Grâce à cet ensemble de documents scientifiques, on peut suivre pendant soixante ans l'évolution de ce glacier. Cet historique doit être retracé par le D^r A. Böhm von Böhmersheim.

SUÈDE. — Dans ces dernières années, les glaciers de la Laponie ont été l'objet d'études méthodiques très intéressantes. En 1896 et 1897, M. A. Gavelin a exploré les petites nappes glacées du Västerbotten et en a cartographié trois au 20,000^e³. En 1897 et 1898, M. J. Westman a observé les glaciers du Sulitelma et de l'Ålmajalos, et en a publié une carte au 50,000^e pour la région appartenant à la Suède⁴.

1. Karlseisfeld-Forschung der k. k. Geogr. Gesellschaft. I. Theil. ARTHUR FREIHERR VON HÜBL, *Die topographische Aufnahme des Karlseisfeldes in den Jahren 1899 und 1900*, in *Abhandl. d. k. k. Geogr. Ges. in Wien*, III, 1 et 2, 1901, Vienne.

2. *Mitth. d. k. k. Geogr. Ges. in Wien*, XL, 1897, Vienne.

3. A. GAVELIN, *Västerbottens jöklar*, in *Svenska Turistföreningens årsskrift för år 1897*, p. 193, Stockholm, et *Sv. Turistföreningens årsskrift för år 1898*, p. 434.

4. J. WESTMAN, *Beobachtungen über die Gletscher von Sulitelma und Ålmajalos*, in *Bull. of the Geological Inst. of Upsala*, n^o 7, vol. IV, Part 1, 1898, Upsala (distribué en 1900).

En 1896, 1897, 1899 et 1900, soit seul, soit accompagné de spécialistes, M. Hamberg a poursuivi l'exploration du massif du Sarjektjåkko, un des plus importants reliefs de la Laponie. Pour achever ce travail, deux étés sont encore nécessaires; en attendant, M. A. Hamberg a publié dans l'*Ymer*¹, le Bulletin de la Société suédoise de Géographie, un mémoire de grande valeur qui renferme un chapitre très étendu consacré aux glaciers.

En Laponie, la glaciation a un aspect très différent de celui auquel nous sommes habitués dans les Alpes.

Au Sulitelma, elle affecte le faciès composite, c'est-à-dire intermédiaire entre la forme alpine et la forme polaire, recouvrant un haut plateau sur lequel des crêtes délimitent plus ou moins complètement des bassins glaciaires. Ainsi la partie du versant Sud de ce massif est occupée par une immense nappe de glace, partagée en deux nappes: la partie orientale, située en territoire suédois, porte le nom de Salajekna²; la partie Ouest, celui de glacier du Sulitelma méridional. Le Salajekna a une longueur de 7,500 mètres environ, et une largeur maximum de 2,500 mètres environ; il couvre une superficie de 15^{kmq},88. Sa pente est seulement de 4°. Le Stuorajekna, qui couvre le versant Est du Sulitelma, occupe une surface de 14^{kmq},67; sa pente moyenne est de 6°. La limite inférieure du Salajekna est à 790 mètres, et celle du Stuorajekna à 899 mètres.

Dans le massif du Sarjektjåkko on rencontre quatre types glaciaires: 1° glaciers suspendus — souvent de minces plaques de glaces collées sur des pentes escarpées; 2° glaciers de *cros* (glacier de *botn* en Norvège,

1. *Sarjefjällen, en geografisk undersökning*, in *Ymer*, 1901, 2 et 3, Stockholm.

2. *Jekna*, « glacier » en lapon.

Kahrengletscher en Tirol); 3° glaciers de vallée; 4° coupes glaciaires (glaciers recouvrant des plateaux). Comme le fait observer très justement M. Hamberg, ces formes passent de l'une à l'autre: ainsi un glacier suspendu devient en certains cas un glacier de vallée. Ces glaciers, logés dans des dépressions très larges, ont une zone d'ablation aussi étendue que leurs bassins d'alimentation. Le plus long glacier du massif atteint un développement d'environ 6 kilomètres, et celui du Luleåvagge mesure une longueur variant de 2 à 3 kilomètres. Les glaciers autour du Sarjektjåkko s'arrêtent à 950 mètres (glacier de Mika) et à 1,030 mètres (glacier de Solta) sur le versant Sud-Ouest, à 1,075 mètres, 1,306 mètres, 1,370 mètres, 1,235 mètres, 1,120 mètres sur le versant Nord-Est.

Les vitesses d'écoulement ont été observées aux glaciers de Mika, de Suotas et de Jokkotjakka (*Sarjektjåkko*) et au *Stuorajekna* (*Sulitelma*).

Le maximum a été atteint sur le glacier de Suotas: 0^m, 116 par vingt-quatre heures, soit 42 mètres environ par an (d'après le chemin parcouru par une pierre du 23 août 1895 au 11 août 1896).

Le glacier de Mika est plus lent; la valeur maximum de son mouvement est de 0^m, 07 à 0^m, 075 par vingt-quatre heures, soit de 25 à 28 mètres par an (d'après la même méthode). Pendant l'été, cette vitesse croît singulièrement: ainsi, pour la période comprise entre le 28 juillet et le 20 août 1897, elle s'est élevée à 0^m, 18 par vingt-quatre heures¹. Pour ce point, la vitesse annuelle calculée est de 27^m, 74 (0^m, 076 par vingt-quatre heures); en admettant une période estivale de 50 jours, on obtient par le calcul, pour les mois d'hiver, une vitesse de 0^m, 059 par jour, et avec une période estivale

1. A. HAMBERG, *Om Kvikkjokkfjällens glaciärer*, n° 2, in *Geol. Fören. i Stockholm Forhandl.*, XIX, 7, 1897, p. 519.

de 60 jours — ce qui est un bien grand maximum — une vitesse de $0^m, 058$. La vitesse en été serait donc trois fois plus forte qu'en hiver.

Sur le Stuorajekna, M. Westman a obtenu des résultats analogues. Du 31 juillet 1897 au 31 juillet 1898, le mouvement moyen annuel de ce glacier a été de $0^m, 032$ par vingt-quatre heures, dans l'axe longitudinal du courant : pendant l'été, cette valeur monte à $0^m, 052$. L'écart entre les vitesses d'été et d'hiver n'est donc pas aussi grand au Stuorajekna qu'au glacier de Mika. La différence observée sur ces deux nappes entre les vitesses moyennes annuelles provient peut-être de la pente du sous-sol, beaucoup moins accentuée, croyons-nous, sur le premier que sur le second.

Une expérience faite sur le Salajekna par M. Westman montre que, pendant l'été, la fusion superficielle est moins importante que l'abaissement du niveau produit par les autres ablations.

MM. A. Hamberg et Westman ont nettement reconnu l'action des influences météorologiques sur la valeur de la fusion estivale ; c'est qu'à cette latitude et à la cote de 1,000 mètres environ, lorsque l'été est froid, le glacier demeure couvert, et les précipitations atmosphériques se produisent toujours sous forme neigeuse. En 1897, année très chaude, fin juillet et commencement d'août, la fusion superficielle sur la langue inférieure du Stuorajekna fut de $0^m, 066$ par vingt-quatre heures ; l'été suivant, qui fut remarquablement froid, elle s'abassa à $0^m, 04$ pour la même période. Au Sarjektjåkko, M. Hamberg a fait la même constatation, comme le montre le tableau suivant de ses observations :

Année.	Température moyenne à Kvikkjokk pen- dant la période de 23 jours des obser- vations.	Altitude du point observé :		
		975 m.	1,010 m.	1,100 m.
		Ablation pendant 23 jours.		
1897	+ 10°,7	1 ^m , 31	1 ^m , 005	0 ^m , 843
1899	+ 9°,5	0 ^m , 88	0 ^m , 585	0 ^m , 350
1900	+ 10°,1	1 ^m , 05	0 ^m , 930	0 ^m , 700

M. Hamberg a fait de très intéressantes observations sur l'alimentation des glaciers. Il a constaté que, pendant l'été de 1899, en vingt jours (23 juillet-12 août), le bassin supérieur du glacier de Mika, situé vers 1,500 mètres, a reçu une couche de neige variant de 1^m,30 à 1^m,19, et que la nappe déposée du 12 août 1899 au 13 juillet 1900 avait une épaisseur de 1^m,95. Ces résultats ont été déduits de l'enfoncement d'un pieu. Pour obtenir des données plus précises, M. Hamberg a établi trois ingénieurs nivomètres enregistreurs aux altitudes respectives de 2,000 mètres, 1,530 mètres et 1,050 mètres. Négligeant la station de 2,000 mètres, dont le fonctionnement n'a pas été parfait, il a obtenu pour les deux autres les valeurs suivantes des précipitations : 3,000 millimètres (à 1,530 mè.), 900 millimètres (à 1,050 mè.), alors que dans les régions basses, à Kvikkjokk, cette valeur ne dépasse pas 336 millimètres. Une augmentation considérable des précipitations se produit donc entre 1,000 et 1,500 mètres.

Dans le massif du Sarjektjåkko, M. Hamberg a constaté également que les moraines superficielles dérivent presque partout des moraines internes. « Le confluent des glaciers étant situé en beaucoup de cas dans le bassin d'accumulation, les matériaux qui tombent à la surface des neiges demeurent enfouis et ne reparissent que dans la région soumise à l'ablation. » Ailleurs, la moraine super-

ficielle apparaît très loin du confluent des branches qui forment le glacier, et seulement au débouché de quelque petit tributaire suspendu, devant lequel elle s'aligne perpendiculairement. Dans ce cas, M. Hamberg pense qu'elle provient de la moraine inférieure de ce glacier suspendu. Une partie des matériaux de cette moraine se déposerait dans l'épaisseur du glacier principal et serait ensuite dégagée par la fusion. Pour cela il est nécessaire que la masse glaciaire apportée par l'affluent s'étale sur celle du principal courant.

ASIE

ASIE-MINEURE — Au Sud-Sud-Est du lac de Van, les montagnes du Kourdistan central atteignent, dans le massif du Djelou-Dagh, au Geliachine, l'altitude de 4,056 mètres. Autour de cette crête, quatre petits glaciers sont blottis dans des *crocs*. Le major F. R. Maunsell a publié dans le *Geographical Journal* (XVIII, 2, août 1901) une carte au 1,000,000^e du Kourdistan central, renfermant un carton figurant le massif du Djelou au 250,000^e, avec la position de ses glaciers.

CAUCASE. — Un ouvrage considérable a été consacré au Caucase par M. G. Merzbacher¹. C'est une monographie très complète qui, par son ampleur, échappe à l'analyse. Les régions glacées sont traitées avec un soin et un luxe de détails particuliers.

ALTAÏ. — M. Sapojnikov a exploré les glaciers de l'Altaï, et leur a consacré un beau volume écrit en langue russe : *La rivière Katoun et ses sources* (Tomsk, 1901). Il a gravi le point culminant du Beloukha (4,440 mèt.), dominant un plateau très neigeux².

1. *Aus den Hochregionen des Kaukasus*, 2 vol. in-8^e de 957 et 964 p., avec 246 zincogravures et trois cartes en couleurs. Dunckert et Humblot, Leipzig, 1901.

2. *The Geographical Journal*, XVIII, 6 déc. 1901, p. 620.

TIAN-CHAN. — En 1899, M. Korolkov a exploré un certain nombre de glaciers du Tian-Chan ¹. Ils sont répartis en quatre groupes : autour des sources du Tychkane ; dans la vallée de l'Aksou méridional, affluent de l'Issyk-Koul ; dans celle de l'Aksou septentrional ; enfin autour des sources du Tchilik Ouest. Le glacier de l'Aksou septentrional est large de 450 mètres et long de 4 kilomètres ; il est formé par la réunion d'un grand nombre de tributaires. Pour la mesure de sa vitesse d'écoulement, M. Korolkov a obtenu les valeurs suivantes pour une durée de vingt-deux heures : 0^m,80 et 0^m,40. Les deux repères étaient placés sur deux bandes différentes du glacier, séparées par une moraine superficielle.

AFRIQUE

Les massifs glaciaires de l'Afrique, le Kenya, le Kili-mandjaro et le Rououenzori, ont été récemment explorés, et ont fait l'objet d'importantes publications pleines d'enseignements sur les manifestations de la glaciation dans les régions équatoriales.

KENYA. — Le Kenya, situé par 0° 12' de Lat. Sud et par 25° de Longit. Est de Paris, à 425 kilomètres de l'Océan Indien, est un ancien volcan dont le sommet est recouvert de glaciers. En 1893, le Dr J. W. Gregory ne put s'élever au delà de l'altitude de 4,200 mètres ; six ans plus tard, M. J. Mackinder a réussi à gravir le géant africain. D'après les observations faites par ce dernier voyageur au moyen d'un baromètre anéroïde et d'un hypsomètre dont l'exactitude a été contrôlée par une triangulation effectuée par le capitaine G. E. Smith, le sommet le plus saillant du Kenya ne dépasserait pas

1. *Compte rendu de l'exploration de quelques glaciers du Tian-Chan pendant l'été de 1899* (en russe), dans les *Izvestya* de la Société russe de géographie, XXXVII, 1, Saint-Pétersbourg, 1901.

5,160 mètres, alors que MM. Gregory et Höhnel évaluèrent son altitude à 5,708 mètres, ce dernier également par une triangulation.

Sur les flancs du Kenya, M. J. Mackinder a relevé l'existence de quinze glaciers, la plupart de petites dimensions. Le plus étendu, celui de Lewis, atteint une longueur de 1,600 mètres. La plus grande partie de la glaciation se trouve localisée sur les versants Sud-Ouest et Ouest, les plus favorisés au point de vue des précipitations atmosphériques.

L'altitude moyenne à laquelle se terminent les glaciers du Kenya est de 4,400 mètres environ, comme le montre le tableau suivant :

Versant S.-O.	{	Glacier Tyndall (vallée Teleki)	4,446 mè.
		— Lewis (<i>Ibid.</i>)	4,455 mè.
		— Darwin (<i>Ibid.</i>)	4,464 mè.
Versant N.	—	Gregory (vallée Mackinder)	4,470 mè.
Versant N.-O.	—	César (vallée Hausbourg)	4,335 mè.

La glace, extraordinairement compacte et dure, est, à n'importe quelle heure de la journée, remarquablement sèche. Les langues terminales des glaciers ne donnent naissance qu'à de maigres ruisseaux, et l'état de leurs rives indique que ces cours d'eau n'ont jamais un débit considérable.

Les traces d'une glaciation antérieure ont été relevées par M. Gregory jusqu'à 4,120 mètres, et peut-être même jusqu'à 3,050 mètres. Depuis l'ouverture du chemin de fer de l'Ouganda, l'accès du Kenya est très facile. Ainsi, parti en juin 1899 d'Angleterre, M. Mackinder atteignait, le 13 septembre, le sommet de la montagne, après l'avoir assiégé pendant un mois.

KILIMANDJARO. — Le Kilimandjaro, situé directement au Sud du Kenya, par 3°4' de Lat. Sud, est, comme lui, d'origine volcanique. C'est un cône de laves

récentes, dont les deux points culminants sont le Kibo et le Maouensi. La pointe la plus saillante du Kibo, la Pointe de l'Empereur Guillaume, atteint 6,010 mètres, et le Maouensi 5,365 mètres.

En 1887, 1888 et 1889, le Dr Hans Meyer avait déjà exploré ce massif et effectué une première ascension de cette cime culminante. Pour continuer ses recherches, notamment pour étudier plus complètement le phénomène glaciaire, ce voyageur a entrepris en 1898 une nouvelle expédition au Kilimandjaro. Les résultats de ce voyage se trouvent consignés dans un magnifique ouvrage, *Der Kilimandjaro* ¹, qui est une précieuse contribution à la connaissance non seulement de la géographie physique de l'Afrique, mais encore de tous les phénomènes actuels qui se produisent dans cette région. Cet ouvrage, édité avec le luxe que la librairie Dietrich Reimer, de Berlin, apporte à toutes ses publications, renferme de magnifiques reproductions de photographies très intéressantes pour les géologues.

D'après M. Hans Meyer, la nappe glaciaire qui recouvre le sommet du Kibo présente une très grande analogie avec les plateaux glacés de la Scandinavie. Il n'y a point, en effet, ici, comme dans les Alpes, de bassins de réception des neiges donnant naissance à des langues de glace, mais simplement un manteau projetant des saillants.

Au Kilimandjaro comme au Kenya, les versants Ouest et Sud-Ouest reçoivent les précipitations les plus copieuses ; aussi est-ce sur ces faces de la montagne que la glaciation se manifeste avec le plus d'intensité. Le côté Ouest est tapissé par une nappe de glace divisée dans sa partie inférieure, par des éperons rocheux, en trois apo-

1. Un vol. grand in-8° de 436 p., accompagné d'une carte hors texte, de quarante planches, dont quatre en couleur, et de 104 illustrations.

physes; glaciers Credner, Drygalski et Penck; il porte également deux très longues langues de glace isolées dans des barrancos. Sur le versant Sud-Ouest se rencontre une seconde nappe, partagée également par des crêtes, dans sa partie inférieure, en quatre courants principaux: glaciers Heim, Kersten, Decken, Rebman. Vers le Sud-Est, la largeur de la frange cristalline qui enveloppe le cratère se resserre, et ne donne naissance qu'à une langue de glace: le glacier Ratzel; enfin, sur les versants Est et Nord, il n'y a plus qu'une étroite frange. Les altitudes auxquelles se termine ce revêtement sont caractéristiques:

Versant N. — Couronne de glace contre les parois du cratère	5,800 mètr.
Cette couronne descend par d'étroits ravins jusqu'à	5,630 —
Versants N. et N.-E. — Couronne de glace épaisse de 80 mètres au maximum	5,700 —
Versant O. — Glaciers Credner, Drygalski, Penck	4,700 —
Glacier du grand Barranco.	4.000 —
Versant S.-O. — Glaciers Heim, Kersten, Decken.	4,400 —
Versant S. — Glacier Rebmann.	4,839 —
Versant S.-E. — Glacier Ratzel.	5,356 —

D'après M. Hans Meyer, afin de tenir compte des facteurs topographiques et géologiques qui influent ici sur la position de la ligne climatique, la limite inférieure des neiges persistantes au Kilimandjaro est donnée par la formule de Kurowski: moyenne des altitudes de la ligne des neiges et de celle des glaces. Dans ce cas, cette formule donne les valeurs suivantes: 5,800 mètres pour les versants Nord et Est, 5,430 pour la face Ouest, et 5,380 pour le côté Sud.

Pendant la saison des pluies, les précipitations tombent sous forme neigeuse jusqu'à 3,500 mètres.

Les glaciers qui recouvrent les pentes supérieures du Kibo, ainsi que la nappe de glace occupant les bords et

le fond du cratère, sont tout hérissés d'aiguilles et tout criblés de cavités ; ils offrent l'aspect de champs de lapiaz ou de pyramides de terre, de colonnes coiffées ¹. Ce faciès karstique est le résultat des actions combinées de l'insolation, de la fusion, et de l'érosion des ruisseaux engendrés par cette fusion. A cette latitude, l'insolation étant très forte et n'étant interrompue par aucune saison froide, la fusion est considérable, particulièrement dans les dépressions où l'air chaud demeure immobile, par suite sur les langues terminales des glaciers. En raison de la position du soleil au zénith, tous les accidents produits par cette ablation sont perpendiculaires au plan du glacier. Mais l'action de beaucoup la plus énergique est exercée par le ruissellement des eaux superficielles. Ces eaux, ayant une température élevée, creusent des sillons de plus en plus profonds, et déchiquent en quelque sorte la surface du glacier en un hérissément de colonnes et de pitons. Un faciès analogue avait déjà été signalé dans les Andes, où il est connu sous le nom de *Nieve penitentes* (pénitents de neige). M. Hans Meyer croit cette forme générale sous les tropiques ; il propose en conséquence de créer dans la classification glaciaire un nouveau membre, qui serait le glacier des régions tropicales. Comme nous le verrons plus loin (p. 397), M. R. Hauthal estime, au contraire, que les *Nieve penitentes* andins sont une forme spéciale à l'Amérique du Sud et ont une origine particulière.

Ces formes, ainsi que la rareté des crevasses, sont l'indice d'un très faible mouvement d'écoulement ; tel est le cas notamment dans le massif glaciaire de l'Ouest ; les glaciers du versant Sud sont au contraire beaucoup plus crevassés. Toutes ces langues de glace ont donné naissance au phénomène morainique.

1. Consulter R. SIEGER, *Die Karstformen der Gletscher*, in *Geogr. Zeitschrift*, 1895, Leipzig.

A une époque géologique récente, la glaciation s'est étendue beaucoup plus bas sur les flancs du Kibo ; des traces glaciaires sont visibles jusqu'à 3,800 ou 3,700 mètres sur les faces Ouest, Sud et Sud-Est. Depuis, elle a toujours reculé ; cette retraite s'est opérée par saccades, et ne paraît pas avoir été interrompue par quelque forte progression. Le livre du Dr Hans Meyer est tout à fait important au point de vue de nos études.

ROUOUENZORI. — Le Rououenzori n'est pas, comme le Kenya et le Kilimandjaro, un cône volcanique isolé, mais une chaîne de montagnes. Situé au Nord du lac Albert-Edouard, il dépasserait en son point culminant l'altitude de 6,400 mètres ; ce serait donc le point le plus élevé de l'Afrique. Sir Harry Johnston, commissaire britannique de l'Ouganda, a fait en septembre 1900 une tentative d'ascension à ce sommet ; à l'altitude de 4,510 mètres, il fut arrêté, sur le glacier du Monbouko supérieur, par des escarpements de glace à pic, hauts de 15 mètres¹. Les crêtes neigeuses s'étendraient sur une longueur de 50 kilomètres. La neige tombe jusqu'à 3,300-3,600 mètres, mais n'est persistante que vers 3,900 mètres. Le glacier du Monbouko supérieur finit à 3,957 mètres ; c'est l'altitude la plus basse atteinte par la glaciation dans cette région. Des traces glaciaires s'observent à 4,500 mètres plus bas. L'été dernier (1900), deux Anglais ont fait une nouvelle tentative au Rououenzori, et disent être parvenus à 450 mètres au-dessus du point atteint par Sir Harry Johnston².

AMÉRIQUE

AMÉRIQUE ANGLAISE. — M. J. Norman Collie^{*} a publié dans le *Geographical Journal* (XVII, 4, avril 1904) une

1. Sir HARRY JOHNSTON, *The Uganda Protectorate, Ruwenzori and the Semliki Forest*, in *The Geographical Journal*, XIX, 1, Jan. 1902.

2. *The Geographical Journal*, XIX, 1, p. 86.

carte au 50,000^e de la portion des Montagnes Rocheuses entre le Horse Pass et les sources de l'Athabasca ¹. Elle donne une excellente représentation de la glaciation dans cette région. Elle est complétée par une autre carte du massif situé au Sud du Transcanadien, entre les rivières Beaverfoot, Wapta Bow et Vermillon, œuvre de M. J. H. Scattergood ².

L'auteur de ce tracé signale dans la partie Sud de la région un grand glacier recouvrant un plateau situé à 3,000 mètres d'altitude, et se déchargeant dans différentes vallées par des langues de glace. Cette formation appartiendrait donc au type *inlandsis*. Sa superficie serait évaluée à 60 ou 75 kilomètres carrés ³.

Plus au Nord, dans la vallée supérieure de la Saskatchewan occidentale, M. Charles S. Thompson a déterminé la limite à laquelle se termine le glacier Peyto (1,650 mètr.). C'est une altitude anormalement basse, due à l'exposition du glacier au Nord et à sa situation protégée ⁴.

ÉTATS-UNIS. — M. Willis T. Lee a publié une description du glacier du Mont Arapahoe (*The glacier of Mt Arapahoe, Colorado, in The Journal of Geology, Chicago, VIII, 7, avec trois photographies*). L'Arapahoe, situé dans le Colorado, par 40°1' de lat. Nord et par 103° 38' de long. Ouest de Greenwich, atteint 4,056 mètres. Sur son versant Nord-Est se trouve un cirque dans lequel est logé un petit glacier, qui a tous les caractères d'une formation glaciaire de *botn* ou d'un *Kahrengletscher*. Il est divisé en deux nappes; la plus importante mesure en longueur environ 3,200 mètres, sur autant de large.

1. Texte dans *The Geographical Journal* (XVII, 3, mars 1901) : *Explorations in the Canadian Rocky Mountains*.

2. *Appalachia*, IX, 3 et 4, pl. XXVIII, Boston.

3. *The Beaverfoot valley and Mt Mollison, in Appalachia*, 3 et 4, p. 299.

4. *A new pass at head of Saskatchewan, Ibid.*, p. 375.

Au pied du glacier, dans l'intérieur du cirque, on observe une petite nappe d'eau. L'origine de ce petit glacier est due aux conditions topographiques, qui facilitent l'accumulation des neiges et qui ensuite les protègent contre l'ardeur du soleil.

En 1897, le professeur Israel C. Russell a exploré la partie des Monts des Cascades comprise entre la Yakuma River. (47° de Lat. N.) et la frontière du Canada ¹. Cette portion de la chaîne atteint son point culminant au Glacier Peak (3,121 mètr.) Les Monts des Cascades, au Sud de la frontière canadienne, renferment plusieurs centaines de glaciers. M. I. C. Russell en a vu cent à cent cinquante ; le plus considérable dans ce nombre a une longueur de 3,200 mètres. D'après ce naturaliste, la plupart de ces glaciers occupent des cirques, et ont une surface de névé considérable relativement à la longueur de leurs langues de glace.

La glaciation est particulièrement développée sur le versant Ouest des Monts des Cascades, le plus copieusement arrosé, notamment autour du Glacier Peak, où elle couvre une superficie de 25 kilomètres carrés. La plupart des glaciers des Monts des Cascades s'arrêtent à la cote 1,800 mètres.

Concernant les régions glacées de l'Alaska, nous devons signaler plusieurs intéressantes publications. En première ligne, c'est le magnifique ouvrage publié par le Dr Filippo De Filippi sur l'expédition du duc des Abruzzes au Saint-Elie : *La spedizione di Sua Altezza Reale il Principe Luigi Amedeo di Savoia, Duca degli Abruzzi, al Monte Sant'Elia, Alaska, 1897*, U. Hoepli, Milan, 1900.

1. Department of the Interior, U. S. Geological Survey. *A preliminary paper on the Geology of the Cascade Mountains in northern Washington*, by ISRAEL C. RUSSELL (Extrait du *Twentieth annual Report of Survey, 1898-1899*. Part II. *General Geology and Paleontology*. Washington, 1900.

Ce superbe volume renferme une illustration aussi copieuse que superbement exécutée, fournie par les photographies de M. Vittorio Sella. Ces reproductions constituent des documents particulièrement intéressants pour l'étude des glaciers de l'Alaska.

Plus au Nord, dans la presque île même d'Alaska, plusieurs expéditions importantes ont été organisées soit par le département de la Guerre, soit par le *Geological Survey* des États-Unis. Les rapports publiés par ces missions contiennent de nombreuses cartes et planches qui mettent en évidence la puissance du phénomène glaciaire dans cette région ¹.

Le *Mazama* (vol. II, 1, oct. 1900, Portland, Orégon) renferme une très belle carte des glaciers du Mont Rainier.

ANDES. — Les explorateurs des cimes glacées des Andes avaient signalé dans cette région l'existence de curieuses formations glaciaires, connues sous le nom de *Nieve penitentes* (pénitents de neige). Ce sont des

1. War Department. Adjudant General's Office. N° XXV. *Reports of explorations on the Territory of Alaska, etc., made under the direction of the Secretary of War by Captain Edwin F. Glenn and Captain W. R. Abercrombie*; Washington, 1899; — Captain W. R. ABERCROMBIE, *Alaska*, 1899; Washington, 1900; — Twentieth annual Report of the U. S. Geological Survey, 1898-1899. Part. VII. *Explorations in Alaska in 1898*. Washington, 1900; — Department of the Interior. U. S. Geological Survey. ALFRED H. BROOKS, GEORGE B. RICHARDSON, ARTHUR J. COLLIER and WALTER C. MENDENHALL, *Reconnoissances in the Cape Nome and Norton Bay Regions, Alaska, in 1900*. Washington, 1901; — Department of the Interior. U. S. Geological Survey. *The Geology and Mineral Resources of a portion of the Copper River district, Alaska*, by FRANK CHARLES SCHRADER and ARTHUR COL. SPENCER; Washington, 1901; — U. S. Geological Survey. Twenty-first annual Report 1899-1900. Part. II. A. H. BROOKS, *A reconnoissance from Pyramid Harbor to Eagle City, Alaska*; O. ROHN, *A reconnoissance of the Chilina River and the Skolai Mountains, Alaska*; F. C. SCHRADER, *Preliminary Report on a reconnoissance along the Chandlar and Koyakuk rivers, Alaska, in 1899*.

espèces de pyramides très élancées, ressemblant vaguement à des colonnes coiffées dépourvues du chapeau protecteur, et ayant très vaguement une silhouette humaine. Sur l'origine de ces *Nieve penitentes*, les avis étaient partagés. D'après M. Hauthal, un des plus distingués collaborateurs du Musée de la Plata, ces *Nieve penitentes* sont formés de neige transformée en glace par le gel de l'eau de fusion ; cette glace est très compacte, ne présente pas une structure granulaire, et ressemble à la glace de sommet (*Hocheis*). La glace des *Nieve penitentes* est constituée par une stratification de couches exemptes de bulles d'air et transparentes, et d'autres opaques, très riches en bulles d'air¹. Les *Nieve penitentes* seraient produits par l'action des rayons solaires. M. Hauthal écarte absolument l'action du ruissellement par les eaux de fusion. Ces pyramides n'ont été rencontrées que sur le versant Est de la Cordillère, entre les altitudes de 3,000 et 5,000 mètres ; aussi M. Hauthal les considère-t-il comme une formation locale. Cette observation n'infirme nullement celle du docteur Hans Meyer concernant les *Nieve penitentes* du Kilimandjaro (p. 392). Sur le volcan africain, il s'agit en effet de pyramides taillées dans l'épaisseur d'un glacier, et qui dérivent du ruissellement des eaux de fusion.

RÉGIONS ARCTIQUES

SPITSBERG. — Notre étude sur les *Variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales* décrit les formes de la glaciation dans cet archipel polaire, et indique sa très inégale distribution géographique sur ces terres. En même temps que ce travail, ont paru deux études sur la géologie glaciaire du Spitsberg,

1. Voir *Globus*, LXXXI, 19, 22 mai 1902.

dues à MM. E. J. Garwood et J. W. Gregory, les compagnons de Sir Martin Conway dans sa très remarquable exploration ¹.

Au Spitsberg comme sur d'autres terres de la zone arctique, certains glaciers, à la sortie de leurs vallées d'écoulement, s'avancent sur des terrains plats en formant d'énormes bombements terminés par des escarpements verticaux très élevés, dits « murailles de Chine ». La couche supérieure de cette falaise, c'est-à-dire la surface du glacier, surplombe le pied, cette couche étant animée d'un mouvement d'écoulement plus rapide que celui de la base. Tandis que la partie supérieure de ces glaciers se montre généralement propre, la partie inférieure est toute noire de matériaux. Les géologues anglais expliquent ainsi l'origine de ces inclusions : la partie supérieure du front du glacier, s'écoulant plus vite que les couches inférieures, forme une corniche, laquelle s'éboule de temps à autre ; les matériaux détritiques épars sur le sol sont agglutinés aux blocs de glace produits par ces éboulements ; toujours poussé en avant, le front du glacier arrive devant ces blocs, passe par-dessus, et se les réassimile avec leur contenu. Il est bon d'ajouter que MM. Garwood et Gregory considèrent les glaciers terminés en « murailles de Chine » comme des glaciers en crue. De plus, ces naturalistes ont nettement observé l'ascension des matériaux morainiques dans l'épaisseur du glacier. C'est ainsi qu'ils ont trouvé inclus dans un glacier cheminant sur une ancienne plage des fragments de *Saxicava rugosa* et de *Mya truncata*. Sous les gla-

1. E. J. GARWOOD et J. W. GREGORY, *Contributions to the glacial geology of Spitsbergen*, in *Quarterly Journal of the Geological Society*, LIV, mai, 1898, et E. J. GARWOOD, *Additional Notes on the Glacial Phenomena of Spitsbergen*, *Ibid.*, LV, nov. 1899. Ces deux mémoires sont accompagnés de reproductions photographiques du plus haut intérêt.

ciers du Spitsberg on n'observe pas de moraine inférieure proprement dite, c'est-à-dire de masse de cailloux sur laquelle repose le glacier et qui en soit nettement séparée. Les strates supérieures de la nappe de glace, absolument chargées de matériaux morainiques, passent, au contraire, par de lentes transitions, à un cailloutis fortement agglutiné par un ciment de glace, lequel repose sur le sol. Des observations de MM. Garwood et Gregory on doit rapprocher celles faites par le professeur T. C. Chamberlin au Grönland (*Glacial studies in Greenland*, in *Journal of Geology*, V, 1891) et par M. A. Hamberg sur les névés Loven au Spitsberg (*En resa till nora Ishafvet sommaren 1892...*, in *Ymer*, 1894, 1, Stockholm).

RÉGIONS ANTARCTIQUES

M. Arctowski, un des distingués naturalistes de la *Belgica*, a fait de très intéressants observations sur la glaciation dans la région de l'Antarctide, située au Sud de l'Amérique. Les résultats se trouvent consignés dans de nombreuses publications, parmi lesquelles nous citerons : *Les calottes glaciaires des régions antarctiques*, dans les *Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, Paris, 24 déc. 1900, et *The Antarctic Voyage of the Belgica during the years 1897, 1898 and 1899*, in *The Geogr. Journal*. XVIII, 4, oct. 1901.

La région visitée par la *Belgica* est couverte par un *inlandsis* très puissant, en raison de la position de la ligne climatique des neiges persistantes dans le voisinage immédiat de la mer. Partout le terrain est recouvert d'une nappe de glace que percent seuls de rares pointements rocheux.

L'expédition anglaise de la *Southern Cross* a recueilli également d'intéressantes observations sur le phénomène glaciaire à la Terre Victoria. Dans son célèbre

voyage de 1840, Sir James Ross s'était heurté, à l'Est du haut et puissant massif montagneux qui forme la saillie Nord de la Terre Victoria, à une muraille de glace haute de 35 à 70 mètres, laquelle s'étendait vers l'Est sur des centaines de mille. La « grande barrière de glace » était, croyait-on, le front d'un immense *inlandsis*. M. Bernacchi, le météorologiste de l'expédition de la *Southern Cross*, ne partage pas cette opinion. Remarquant que tous les glaciers de la Terre Victoria se prolongent en mer par une langue de glace dont la longueur est proportionnelle à leur position en latitude (Longueur et largeur des langues de glace : 1° dans la baie Robertson [71°] : 3 milles, et 900 mètres ; 2° au cap Gauss [76°] : 30 milles, et 4 ou 5 milles), M. Bernacchi suppose que la « grande barrière de glace » n'est autre chose qu'une masse de glace du même genre. Si on se trouvait en présence d'un véritable glacier, du front d'un *inlandsis*, écrit ce voyageur, il devrait y avoir là une langue de glace comme devant les autres glaciers de la région, et d'autant plus étendue que le glacier est plus considérable. Or, la « barrière de glace » ne déborde que d'un demi-mille, en avant du cap Crozier qui la borde à l'Ouest. De plus, les Monts Parry, qui s'élèvent sur la rive Ouest de cet amas glaciaire, paraissent la continuation de la côte orientale de la Terre Victoria. La « barrière de glace » doit donc être simplement, d'après M. Bernacchi, une langue de glace terminale d'un énorme glacier issu des Monts Parry ; sa largeur pourrait bien attendre 50 milles, et au delà on trouverait peut-être une mer plus ou moins libre ¹. L'expédition anglaise de la *Discovery*, qui est à l'œuvre dans ces parages, et dont fait partie M. Bernacchi, nous expliquera peut-être cette intéressante formation glaciaire spéciale à l'Antarctide.

1. LOUIS BERNACCHI, *Topography of South Victoria Land*, in *The Geographical Journ al*, XVII, 5, mai 1900, p. 491.

III

OBSERVATIONS SUR LES VARIATIONS DE
LONGUEUR DES GLACIERS

Le Rapport annuel publié par la Commission internationale des Glaciers étant très sommaire, et distribué seulement à un petit nombre d'exemplaires, il nous paraît utile de résumer les observations faites sur le régime des glaciers dans les diverses parties du monde, et de signaler les travaux relatifs à cette étude.

EUROPE

FRANCE. — Pour 1900, il n'a été encore publié aucune observation. En revanche, il a été édité un très important ouvrage relatif aux variations des glaciers dauphinois avant cette date : *Observations sur les variations des glaciers et l'enneigement dans les Alpes dauphinoises, organisées par la SOCIÉTÉ DES TOURISTES DU DAUPHINÉ, sous la direction de W. KILIAN, professeur à la Faculté des sciences de Grenoble, avec la collaboration de G. FLUSIN, préparateur à la Faculté des sciences de Grenoble, et le concours des guides de la Société, de 1890 à 1899, et publiées sous le patronage de l'ASSOCIATION FRANÇAISE POUR L'AVANCEMENT DES SCIENCES* (9 planches en phototypie), Grenoble, 1900. C'est l'œuvre la plus considérable concernant les glaciers français, et elle fait le plus grand honneur à M. Kilian qui l'a dirigée, et à la Société des Touristes qui l'a fait entreprendre.

De 1892 à 1900, vingt-six glaciers, situés presque tous dans le massif du Pelvoux, ont été mis en observation suivie. Durant cette période, la *grande phase de décrue*, caractéristique de la fin du XIX^e siècle, a été interrom-

pue par une *crue passagère* sur cinq glaciers (1886 à 1893), et par un arrêt du recul de deux glaciers.

La crue passagère la plus accentuée s'est manifestée sur le glacier Blanc; elle a duré environ dix ans, 1886-1896, et a atteint, vers 1890, d'après le prince Roland Bonaparte, une valeur annuelle de 100 mètres, qui a ensuite diminué progressivement.

L'allure des glaciers du Dauphiné a donc été identique à celle observée sur ceux de la Suisse.

Rappelons que le président de la Commission française des glaciers, le prince Roland Bonaparte, a publié ici même (vol. XVII et XVIII, 1891 et 1892) deux mémoires : *Les Variations périodiques des glaciers français*, concernant la période antérieure à 1890.

SWISSE¹. — La *crue passagère* de la fin du XIX^e siècle paraît s'éteindre. En 1900, sur les 82 glaciers observés, un seul était en progression continue, le petit glacier de Boveyre, dans le val d'Entremont (de 1892 à 1900, allongement de 112 mètres); six autres se trouvaient en état de crue probable. De 1899 à 1900, le nombre des courants en état d'allongement avait diminué (10 en 1899) et celui des courants en décroissance augmenté (63 en 1899, contre 75 en 1900). Le maximum de décrue constaté en 1900 a été de 86 mètres, sur le glacier inférieur de Grindelwald.

TIROL. — En 1900, un certain nombre de glaciers des Alpes orientales étaient en crue : Otzthal, un glacier (Vernagtferner); Zillerthal, deux glaciers (Hornkees et Wasaggkees); Hohe Tauern, deux glaciers également (Krimmlerkees et Untersalzbachkees); groupe du Goldberg, un glacier (Fleeskees); groupe de l'Ankogel,

1. F.-A. FOREL, M. LUGEON et E. MURET, *Les variations périodiques des glaciers des Alpes, vingt et unième rapport, 1900*, in *Jahrbuch des Schweizer Alpenclub*, XXXVI, 1900-1901, Berne; 1901, p. 169.

deux glaciers (Klein-Elandferner et Hochalpenspitzferner). Le glacier de Vernagt, dont le régime est particulièrement rapide, s'est allongé de 150 mètres, et s'est soudé à son voisin, le Guslarferner. Sur les autres glaciers, l'allongement n'a pas dépassé une vingtaine de mètres. Tous les autres glaciers observés étaient en décrue, mais peu accentuée. Le Dr Kutta a étudié très soigneusement le recul du glacier de Gepatsch et a fourni des valeurs numériques de sa régression ¹.

ITALIE ². — Un régime semblable à celui constaté en Dauphiné, en Suisse et en Tirol a été observé sur les glaciers du revers italien des Alpes. Légère crue sur quelques points des Alpes Juliennes, et prodromes de crue dans les Alpes Maritimes ; partout ailleurs, décroissance.

M. G. Dainelli ³ a placé, en 1901, des repères devant le front des glaciers de Macugnaga, de Bors, d'Indren et du Lys, et exécuté une carte de leur extrémité inférieure, sauf pour le glacier de Macugnaga.

D'après les recherches de ce naturaliste, le régime de ces glaciers peut être ainsi établi : 1° Glacier de Macugnaga. En 1780, expansion maximum, suivie d'une régression à laquelle succède une crue dans les premières années du XIX^e siècle. En 1820, le glacier atteignait un développement considérable ; puis, à partir de cette même année, décrue assez sensible ; vers 1845,

1. *Berichte über die wissenschaftlichen Unternehmungen des D. u. Ö. A. V.*, in *Mitteil. des Deutschen und Österreichischen Alpenvereins*, 1901, n° 11.

2. Rapport du professeur PORRO, de Gênes, in *Commission internationale des Glaciers. Sixième rapport*.

3. G. DAINELLI, *Stato attuale dei ghiacciai del Monte Rosa*, in *Atti della R. Accademia dei Lincei*. Anno CCXCIV, 1902. Série Quinta, *Rendiconti*. Classe di scienze fisiche, matematiche e naturali, vol. XI, 1, p. 24 ; Rome, 1902.

nouvelle crue qui se termine en 1860, peut-être même auparavant. De 1881 ou 1883 à 1893, crue; depuis, retrait; — 2° Glacier du Lys. Maximum au XVIII^e siècle, puis décrue, suivie d'une crue considérable, qui, en 1820, porte le front du glacier à 250 mètres de Cortlis; ensuite, régression jusqu'en 1852. Postérieurement se manifeste une crue qui, peu avant 1865, a fait avancer le front à 500 mètres en avant du point où il s'arrête aujourd'hui. Depuis, décrue, interrompue, de 1884 à 1889, par une crue, à laquelle a succédé une phase stationnaire ou de légère régression; — 3° Glacier du Val Sesia. Décrue totale dans ces soixante dernières années: 600 mètres. En 1894 ou 1895, crue; actuellement régression; — 4° Glacier de Bors. Depuis 1891, régression de 100 mètres; — 5° Glacier d'In-dren. De 1876 à 1901, recul de 250 mètres.

Les glaciers du Val Tournanche, de Ventina, de Verra, de Plua, comme ceux du versant Nord du Mont-Rose, sont actuellement en retrait. M. Dainelli signale la disparition de plusieurs glaciers de ce massif.

Une étude¹ du professeur Luigi Marson donne d'intéressantes valeurs numériques sur le recul des glaciers du Bernina. De 1890 à 1897, retrait du Scerscen supérieur: 1,100 mètres; du Muretto oriental: 1,000 mètres. Une pulsation en avant a été observée également dans ce massif après 1875.

NORVÈGE. — Sur les oscillations de largeur des glaciers, trois mémoires ont été publiés: 1° P. A. ØYEN, *Bidrag til vore brægnes geografi* (Contribution à la géographie de notre région glaciaire), dans le *Nyt Magazin for Naturvidenskaberne*, XXXVII, 1900, Kristiania; 2° J. REKSTAD, *Om periodiske forandringer hos norske*

1. LUIGI MARSON, *Sui ghiacciai del Bernina, conclusioni e nota supplementiva sui dati idrografici del Mällero*, in *Boll. della Soc. Geografica Italiana*, Série IV, vol. XI, n° 11, nov. 1901.

bræer (Variations périodiques des glaciers norvégiens), accompagné d'un résumé en anglais ; 3° CHARLES RABOT, *Les variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales*, extrait des *Archives des sciences physiques et naturelles*, 1899 et 1900, Genève et Bâle, 1900. Un travail critique sur ces trois mémoires, dû à la plume autorisée du professeur R. Sieger, de Vienne, a paru dans la *Geographische Zeitschrift* (1902, février). En raison de la difficulté d'accès des mémoires originaux, dont deux sont en langue norvégienne et dont le troisième n'est pas en librairie, le résumé de M. Sieger sera consulté par ceux qu'intéresse cette question : aussi nous semble-t-il utile de mettre en garde contre ses observations, parfois erronées.

Les variations des glaciers norvégiens peuvent être résumées en trois faits principaux : 1° Avant le xviii^e siècle, les glaciers étaient moins étendus qu'aujourd'hui, et cet état de minimum durait depuis des siècles ; 2° Au début du xviii^e siècle, dans le Nord, vers le milieu du siècle, dans le Sud, les glaciers ont éprouvé une crue énorme ; 3° Pendant le xix^e siècle s'est produite une décrue et, dans l'intérieur de cette décroissance ont eu lieu deux oscillations positives secondaires, lesquelles ont été très faibles, et surtout n'ont pas présenté un caractère général.

Sur le premier point, qui est d'une grande importance, MM. J. Rekstad, P. Öyen et moi sommes absolument d'accord.

M. Rekstad s'exprime ainsi : « Dans la première moitié du siècle précédent (du xviii^e), les glaciers norvégiens éprouvèrent une très forte progression et recouvrirent des terrains qui, depuis longtemps, n'avaient pas été soumis à la glaciation. » (*Op. cit.*, p. 3.) « Avant la crue du siècle précédent, les glaciers étaient, dans tous les cas, aussi petits qu'aujourd'hui, probablement un peu

plus petits. » (P. 5.) « Avant la crue de 1742, le Tverbræ était plus en arrière qu'aujourd'hui. » (*Ibid.*)

M. Öyen est non moins catégorique : « Ce qui doit appeler tout particulièrement l'attention, c'est que les glaciers ont progressé, se trouvant dans un état relativement très peu développé, si peu développé même que plusieurs, à l'heure actuelle, peuvent être regardés comme des géants comparés à ce qu'ils étaient dans cette période, même après la décrue véritablement importante qu'ils ont subie depuis cette phase de progression. » (*Op. cit.*, p. 166.)

L'ampleur de la crue du XVIII^e siècle est reconnue par les trois auteurs. Le début de cette progression peut être, à notre avis, placé en 1730 pour la Norvège méridionale, et vers 1720 dans le Nord. D'après M. Rekstad, la crue aurait commencé en 1700 et aurait persisté jusqu'en 1750.

La seule divergence importante relevée dans nos trois mémoires concerne l'ampleur de la décrue du XIX^e siècle. M. Öyen et moi nous plaçons le début de cette période vers 1812, tandis que M. J. Rekstad le fixe à 1750. MM. Rekstad et Öyen considèrent cette décrue comme très importante, surtout dans ces cinquante dernières années. De 1748 à 1899, les glaciers de Nigard, et probablement aussi celui de Boium, ont reculé de 2 kilomètres environ ; le glacier de Berset, de 1,850 mètres, de 1743 à 1899¹. A mon avis, ces cas de grande décroissance sont accidentels ; toutefois depuis 1896, date de mon dernier voyage en Norvège, le recul des glaciers paraît s'être accentué.

Dans l'intérieur de la décrue du XIX^e siècle, les deux naturalistes norvégiens ont, comme moi, trouvé les

1. J. REKSTAD, *Op. cit.*

traces de variations positives. M. Rekstad en signale deux au glacier de Boium et trois au Buarbræ : 1870 et 1888 seraient les dates des maxima du premier ; 1850, 1878 et 1886, celles des maxima du second.

ISLANDE ¹. — Depuis l'époque de la colonisation de l'île par les Normands, les glaciers ont notablement augmenté, particulièrement le Vatnajökull, sur le versant méridional. Au début du XVIII^e siècle, ils étaient, en tout cas, beaucoup moins étendus qu'aujourd'hui, mais à cette époque commence à se manifester une crue très importante, qui a été interrompue par une période indéfinie de décroissance. Après cet arrêt, la plupart des glaciers ont augmenté dans des proportions considérables, et cette phase a persisté pendant la plus grande partie du XIX^e siècle. En 1894, plusieurs glaciers progressaient. Après cette crue s'est produite une régression, mais, jusqu'ici du moins, elle ne paraît pas avoir une grande amplitude.

ASIE

ALTAÏ. — D'après les observations de M. Sapojnikov, les glaciers de cette chaîne sont en voie de décroissance.

HIMALAYA. — Massif du Kanchinjunga. M. Douglas Freshfield annonce un recul lent dans cette région.

KARAKORUM. — D'après le guide Zurbriggen, qui a accompagné Sir Martin Conway en 1892, et M. et M^{me} Workman en 1899, le glacier de Biafo se serait nota-

1. Commission internationale des Glaciers. CHARLES RADOT, *Les variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales*. Première partie, 1897.

blement retiré dans l'intervalle entre ses deux voyages. En 1861, lorsque le colonel Godwin Austin visita la région, l'extrémité inférieure de ce glacier venait buter contre la paroi méridionale de la vallée ; aujourd'hui il arrive à peine à la hauteur de la paroi méridionale de cette même vallée ¹. Depuis très longtemps les glaciers de cette région sont en retrait, comme le montre le récit, publié récemment, d'une exploration faite en 1848 par Sir Richard Strachey. A cette date, le glacier de Shikel s'était retiré récemment de 400 mètres, et celui de Milam était également en retrait. Les indigènes montrèrent à Sir Richard Strachey un roc distant de plusieurs centaines de *yards* du front du glacier, qu'il atteignait jadis. Une ancienne moraine, à 4 kilomètres de l'extrémité du glacier, indiquait son ancienne extension ².

PAMIRS. — Vingt glaciers découverts par M. Dmitriev autour des sources du Tichkis, du Bourkane et du Tchéjine, sont en décroissance ³.

CAUCASE. — Sur toute l'étendue de cette chaîne, décrue ⁴.

AFRIQUE

KILIMANDJARO. — La glaciation a notablement diminué. En 1898, le cratère, qui, lors de la première ascension du Dr Hans Meyer (1889), était presque entièrement rempli de glace, en était dépouillé dans sa plus

1. FANNY BULLOCK WORKMAN et WILLIAM HUNTER WORKMAN, *In the Ice World of Himalaya*, Fisher Unwin, Londres, 1900.

2. *Narrative of a journey to the lakes Rakas-tal and Manasarowar in Western Tibet, undertaken in september 1848 by Sir Richard Strachey*, in *The Geographical Journal*, 1900, n° de février.

3. T. II des *Annales de la Section du Turkestan de la Société Impériale de Géographie*, 1900. Voir *Sixième rapport de la Commission internationale des Glaciers*, 1900.

4. *Sixième rapport de la Commission internationale*.

grande étendue. La couronne de glace qui surmonte le sommet du cône a également singulièrement diminué d'épaisseur de 1889 à 1898. De plus, tous les glaciers sont précédés, à une distance variant de 20 à 300 mètres, d'une série d'une à trois moraines marginales ¹.

AMÉRIQUE

SELKIRK. — Le glacier d'Illicilliwaet était en 1887 en état de maximum stationnaire. Tout autour de sa moraine frontale croissaient des arbustes dont l'existence indiquait que la glace n'avait pas progressé depuis longtemps. En 1888 se manifesta un léger recul, qui depuis a continué. En 1899, le retrait était de 120 mètres ².

ALASKA. — Depuis la fin du XVIII^e siècle, les glaciers de l'Alaska ont éprouvé d'énormes variations de longueur.

M. Otto Klotz, du corps des topographes canadiens, a relevé des cas de progression et d'énormes reculs, en comparant les levés qu'il a effectués en 1893 à ceux exécutés par La Pérouse en 1786 et par Vancouver en 1794 (*Geographical Journal*, vol. XIV, n^o 5).

Dans le Lituya Bay (« port des Français » de La Pérouse), de 1786 à 1893, les glaciers de l'Ouest et de l'Est ont progressé : celui de l'Ouest a avancé de 5,556 mètres et rempli une cavité fjordienne, profonde de 120 mètres en 1786, et celui de l'Est a avancé de 4,630 mètres. En second lieu, de 1794 à 1893, le glacier Brady s'est allongé de 9,260 mètres, recouvrant les ruines d'un village d'Indiens signalé par Vancouver.

1. HANS MEYER, *Op. cit.*

2. GEORGE and WILLIAM S. VAUX, *The Great Glacier of the Illicilliwaet*, in *Appalachia*, IX, 2, mars 1900, Boston (avec une carte du front du glacier). Cf. A. PENCK, *Der Illicilliwaet im Selkirkgebirge*, in *Zeitschrift d. D. u. Ö. A. V.*, 1898, XXIX.

D'autre part, lors du voyage de Vancouver, tout le Glacier Bay était rempli par des glaciers dont le front dessinait deux anses très ouvertes et profondes tout au plus de 9 kilomètres. D'après M. Klotz, de 1794 à 1894 le retrait des glaciers aurait atteint ici 83 kilom. ; le glacier de Muir se serait retiré de 46 kilomètres ! D'après la description de Vancouver également, M. Klotz conclut également à un retrait de plusieurs courants cristallins qui débouchent sur la côte, entre le Glacier Bay et la Stikine. Ainsi, dans le fjord de Taku, en 1893, seul le glacier de Foster atteignait la mer, alors qu'un siècle auparavant plusieurs baignaient dans la baie. Dans le détroit de Stephen, les glaces flottantes sont rares actuellement, alors qu'en 1841 elles étaient encore très abondantes. La diminution dans l'intensité du *velage* est un indice du recul des glaciers. Le front du glacier Le Conte aurait rétrogradé de 9 à 11 kilomètres depuis 1793, et de 925 mètres dans ces dix dernières années.

Dès 1891, M. J. C. Russell avait signalé les changements éprouvés par les glaciers voisins du Saint-Élie depuis la fin du XVIII^e siècle. En 1891, ce voyageur avait pu pénétrer jusqu'au fond de la Baie du Désenchantement (Disenchantment Bay), alors qu'en 1792 Malaspina en avait trouvé l'entrée barrée, à la hauteur de l'île Haenke, par une masse de glace formée par la réunion des trois courants qui portent aujourd'hui les noms de glaciers Dalton, Hubbard et Nunatak. (Voir l'esquisse de la région du Saint-Élie : *Second Expedition to Mount Saint Elias*, in *Thirteenth annual Report of the U. S. Geological Survey for 1891-92*, Washington). Derrière ce barrage s'étendait un grand lac, dont le niveau s'élevait à environ 70 mètres plus haut que celui du fjord qui l'a remplacé, lorsque la digue cristalline eut disparu.

Une contribution très importante a été apportée à la connaissance des variations des glaciers de l'Alaska par

la magnifique publication de l'expédition Harriman ¹.

L'auteur du chapitre concernant les glaciers, M. Muir, ayant exploré en 1879 plusieurs des localités visitées par l'expédition, ses observations sont particulièrement intéressantes. Dans le Glacier Bay, depuis 1879, le retrait des glaciers a été particulièrement remarquable. Durant ces vingt dernières années, les glaciers qui débouchent dans cette mer ont diminué des valeurs suivantes : le Hugh Miller et le Muir, 3,200 mètres ; le Grand Pacifique, environ 6,400 mètres ; le Geikie, le Rendu et le Carrol, de 11,200 à 16,000 mètres ². En 1899, une île, longue de 4,000 à 4,800 mètres et haute de 320 mètres environ, apparaissait complètement isolée en avant du Grand Pacifique ; en 1879, son extrémité méridionale seulement émergeait de la glace ; en 1890-1892, elle était déjà en grande partie dégagée ³.

Ces glaciers se terminent en mer, mais ne donnent pas naissance à des *icebergs* dans le sens technique du mot ; les blocs qui se dégagent de leurs falaises terminales sont simplement des *glacier-isblock*, suivant l'expression suédoise, ou de la *kalvis*, dans le vocabulaire danois, c'est-à-dire des glaçons relativement de petites dimensions, mis en liberté soit par l'érosion de la falaise cristalline terminale, soit par une rupture d'équilibre causée par le jeu des marées, soit par un mouvement dans la masse du glacier à la suite de l'ouverture d'une crevasse.

1. Harriman Alaska Expedition, with cooperation of the Washington Academy of Sciences. *Alaska*, vol. I, Narrative, Glaciers, Natives, by JOHN BURROUGHS, JOHN MUIR, and GEORGE BIRD GRINNELL ; vol. II, History, Geography, Resources, by WILLIAM H. DALL, CHARLES KEELER, HENRY GANNETT, WILLIAM H. BREWER, C. HART MERRIAM, GEORGE BIRD GRINNELL and M. L. WASHBURN. New-York, Doubleday, Page and Co, 1901.

2. *Op. cit.*, vol. I, p. 128.

3. Department of the Interior, U. S. Geological Survey. HARRY FIELDING REID, *Map of Glacier Bay, in Glacier Bay and its glaciers* (Extract from the Sixteenth Annual Report of the Survey. Part I. Director's Report and Papers of a theoretic nature) ; Washington, 1896.

Aussi bien dans l'Alaska qu'au Spitsberg, il n'est pas vraisemblable que le *velage* soit un élément perturbateur dans la position du front du glacier, et masque le régime du courant de glace.

Le glacier Morse, qui, lui, se termine sur le sol, s'est également retiré. En 1892, ce courant rejoignait le Muir (carte Harry Fielding Reid) ; en 1899, il en était séparé par une plaine de graviers large de 1,600 mètres ¹.

L'expédition Harriman a relevé, d'autre part, des cas de progression. Ainsi, un des glaciers de la chaîne du Fairweather, le La Pérouse, a récemment progressé ; une partie de son front a renversé la forêt riveraine ². M. John Muir a relevé, au cours du voyage, plusieurs autres exemples d'une pareille destruction par une crue récente des glaciers, notamment dans la baie Taylor et dans le Prince William Sound. Pendant l'été de 1880, ajoute ce géographe, lorsque je visitai le glacier Brady, je vis des milliers d'arbres, dont un grand nombre étaient vieux de plus d'un siècle, déracinés et empilés comme le sont des mauvaises herbes par le passage de la charrue, par suite d'une progression du glacier. Au lieu de reculer, le courant de glace s'était donc allongé depuis que Vancouver avait exploré la baie en 1794.

M. Henry Gannett, géographe en chef du *Geological Survey* des États-Unis, qui faisait, comme M. John Muir, partie de l'expédition Harriman, confirme les faits signalés par ce glaciériste (*The Harriman Alaska Expedition*, in *The National Geographic Magazine*, n° 12, Dec., 1899, Washington).

D'après M. H. Gannett, dans le courant du XIX^e siècle, les glaciers qui débouchent à l'extrémité septentrionale du Port Wells (Prince William Sound) auraient reculé de neuf à dix milles. Les anciennes cartes donnent à ce

1. *Op. cit.*, p. 45.

2. P. 52.

canal une longueur de 30 milles, tandis qu'aujourd'hui, d'après les observations de l'expédition Harriman, il atteint un développement de 40 milles. A notre avis, il n'y aurait là qu'une simple hypothèse, les cartes anciennes de l'Alaska ne méritant pas une confiance assez grande pour autoriser pareille comparaison. L'exemple le plus remarquable du retrait des glaciers dans cette région est fourni par le fjord Harriman, la branche Ouest du Port Wells. Cette baie, ouverte vers le Nord-Ouest, se recourbe ensuite à angle droit vers le Sud-Ouest, puis vers le Sud-Sud-Ouest. Au sommet de l'angle qu'elle forme débouchent sur la rive Nord un grand glacier, le glacier Washington, puis deux autres, les glaciers Serpentine et Surprise ; enfin le fond même du goulet est rempli par un quatrième glacier, le glacier Harriman. La branche Ouest du Port Wells n'est portée sur aucune carte, et les indigènes croyaient son entrée fermée par le glacier Washington. M. H. Gannett estime qu'il y a un siècle les quatre courants cristallins, qui débouchent aujourd'hui sur les rives du fjord Harriman, étaient réunis et remplissaient complètement ce goulet ; il croit également que le glacier Washington s'est retiré seulement depuis quelque temps, en ouvrant l'accès de la partie supérieure de la baie. Jusqu'à une date toute récente se présentait là un très curieux exemple de fjord barré par un glacier.

Les explorations effectuées en 1898 par les membres du *Geological Survey* des États-Unis dans la région montagneuse située au Nord-Ouest du Saint-Élie, comprise entre la Tanana (affluent du Yukon) et le Prince William Sound, signalent un recul général des glaciers¹ : glacier de Hayes (Mont Tordrillo), petit glacier au fond de la

1. *Twentieth annual Report of the United States Geological Survey to the Secretary of the Interior, 1898-1899. Part VII. Explorations in Alaska in 1898.* Washington, 1900.

Portage Bay, glacier de Matanuska (la partie orientale de son front est recouverte d'une moraine sur laquelle s'est développée une forêt de conifères), glacier situé près du confluent de la Delta River et de la Tanana, rive gauche (il barrait il y a peu de temps la vallée ; il paraît sujet à des oscillations très rapides).

Ainsi, à la fin du XVIII^e siècle, et peut-être au commencement du XIX^e, les glaciers de l'Alaska étaient en état de maximum, après avoir éprouvé une crue considérable. Ensuite s'est produit, de 1877 à 1899, un recul très accusé, qui a été interrompu par des pulsations locales en avant.

RÉGIONS ARCTIQUES

SPITSBERG. — En 1900 et 1901 deux mémoires ont paru, relatifs aux variations de la glaciation dans cet archipel : nos *Variations de longueur des glaciers dans les régions arctiques et boréales*, et *Die Gletscher von Spitsbergen*, par le professeur G. de Geer (*Verhandlungen des siebenten Internationalen Geographen-Kongresses in Berlin*, 1899 ; Berlin, 1901, vol. II, p. 299).

Au Spitsberg comme en Islande, comme à Jan Mayen, comme en Norvège, dans le courant du XVIII^e siècle, une crue considérable s'est produite. Ce maximum a pris fin au milieu du XIX^e siècle. En tous cas, vers 1860 une décroissance se manifeste, mais elle semble n'avoir pas eu l'ampleur de la *grande décrue* de la fin du XIX^e siècle dans les Alpes. Dans ces vingt dernières années, un certain nombre d'observations indiquent une variation positive, mais elle est loin d'être générale ; c'est un phénomène secondaire se produisant à l'intérieur du premier qui a un caractère primaire.

Une des variations les plus curieuses survenues pendant cette dernière période est celle du glacier de Sef-

ström. De 1892 à 1896, ce courant s'est allongé de 6 kilomètres, et a recouvert une surface de 33 kilomètres carrés d'une nappe atteignant une puissance de 300 mètres (G. de Geer, *loc. cit.*, p. 300), ce qui correspond à plus de 6 milliards et demi de mètres cubes de glace. M. G. de Geer attribue l'ampleur de cette crue à ce que, dans sa partie supérieure, ce glacier est très plat, et que, par suite, une accumulation de neige peut se poursuivre pendant longtemps avant qu'une crue prenne naissance. En 1882, lorsque ce géologue visita pour la première fois le glacier de Sefström, des îlots morainiques, situés en avant de son front au milieu du fjord, indiquaient qu'auparavant il avait éprouvé de semblables oscillations de longueur. Les anciennes lignes de rivage produites par la variation de niveau négative survenue à la fin de la période glaciaire, et situées sur la rive du fjord faisant face au glacier de Sefström, sont absolument intactes : c'est donc la preuve que depuis cette époque le glacier n'a pas éprouvé de crue plus considérable que celle survenue dans les temps actuels. Devant un grand nombre d'autres glaciers du Spitsberg, M. de Geer a relevé la même relation de position entre les moraines actuelles et les lignes de rivage post-glaciaires.

A une époque antérieure, les glaciers du Spitsberg ont été singulièrement plus réduits qu'aujourd'hui ; leurs fronts se trouvaient bien en arrière de leur emplacement actuel, et tout l'espace qu'ils ont envahi depuis était occupé par la mer. En effet, les moraines de nombreux glaciers, même de ceux qui sont maintenant en recul très accentué, renferment des débris de mollusques marins de la période post-glaciaire. A cette époque, le climat de l'archipel était plus doux qu'aujourd'hui ; la moule (*Mytilus edulis*), la *Littorina littorea* et la *Cyprina islandica*, qui recherchent des eaux tempérées, vivaient alors dans la mer du Spitsberg, qu'ils ont aujourd'hui abandonnée.

M. de Geer estime qu'actuellement la très grande majorité des glaciers de l'archipel sont en retrait. De plus, depuis un certain nombre d'années, l'océan, autour du Spitsberg, est, en été, très ouvert. De ces deux circonstances l'éminent géologue suédois conclut à l'existence actuelle d'une période relativement douce.

Toutes ces observations peuvent se résumer en deux propositions :

1° Une crue énorme s'est produite au xviii^e siècle dans toutes les régions du Nord (Alaska, Islande, Jan Mayen, Spitsberg, Norvège) ; dans certains pays au moins, elle a dépassé en amplitude toutes les précédentes et a déterminé l'invasion de terres jusqu'à indennes (Norvège, Islande). Cette crue a peut-être commencé, en Islande, dès la fin du xvii^e siècle ; elle a pris fin à des dates variables suivant les régions ;

2° Actuellement, une décroissance générale se manifeste. Le début de cette période ne peut être établi avec certitude pour tous les pays. Dans une partie des régions arctiques et dans l'Europe boréale, elle n'est pas, à notre avis, aussi accusée que dans les Alpes.

L'étude des observations faites dans les régions boréales, notamment en Norvège, a montré, d'autre part, le passage d'oscillations secondaires d'une courte durée survenant dans l'intérieur des grandes variations.

*
* *

Les expériences de M. J. Vallot sur la Mer de Glace, poursuivies de 1891 à 1899, apportent de précieuses indications sur le mécanisme des variations de longueur, du moins dans les Alpes¹.

Pendant neuf ans, toujours à la même date, notre

1. J. VALLOT, *loc. cit.*

collègue a exécuté le nivellement de quatre profils du glacier des Bois, établis respectivement aux Échelets, au Montanvert, au Mauvais Pas et au Chapeau. En même temps, pendant huit ans il a relevé le profil longitudinal de la partie inférieure du glacier, au moyen de mesures angulaires prises du Chalet de la Côte.

Ces observations ont mis en évidence le passage d'une onde de glace qui, en cinq ans, a parcouru la région comprise entre les Échelets et l'extrémité de la Mer de Glace. En 1891, le niveau du glacier est en hausse sur tous les profils, excepté au Chapeau; l'année suivante, la hausse s'accroît, et atteint le Chapeau; en 1893, aux Échelets, le glacier baisse, et en 1894 au Montanvert, tandis que les lignes d'aval montent rapidement; en 1895, la baisse atteint le Chapeau, puis, en 1896, 1897, 1898, s'accroît partout, notamment dans les régions d'aval. Ainsi le maximum est atteint successivement aux Échelets en 1892, au Montanvert en 1893, au Mauvais Pas et au Chapeau en 1894. Si l'arrivée de cette onde à l'extrémité inférieure du glacier n'a pas déterminé un allongement de la langue terminale, cela tient aux formes topographiques du terrain sur lequel elle se trouve: le front du glacier se trouve en effet comme bloqué entre deux éperons rocheux, qui le maintiennent comme une digue.

La marche de cette vague est beaucoup plus rapide que le mouvement d'écoulement du glacier. Son existence est indépendante des influences météorologiques. Les observations de M. J. Vallot ont abouti à un résultat diamétralement opposé à celui qui a été relevé sur les glaciers de la Laponie suédoise; elles montrent en effet que sur la Mer de Glace la pluie fond la glace presque aussi rapidement que le soleil; par suite, que la fusion est presque aussi importante un été humide qu'un été chaud, du moins dans la partie inférieure du glacier. Plus haut,

les précipitations atmosphériques tombent sous la forme de neige, et par suite accroissent le glacier ; par conséquent, c'est dans les régions élevées que se produit le phénomène donnant naissance à l'onde de glace.

Les observations de MM. Blümcke et Hess sur le Vernagtferner ont également relevé le passage d'une onde de glace se mouvant plus vite que le glacier. Cette onde a employé dix ans, 1889-1899, pour parcourir une distance de 1000 mètres, et, lorsqu'elle est arrivée à l'extrémité du glacier, immédiatement s'est produite une progression du front. En 1899, le Vernagtferner a avancé de 200 mètres, en 1900 de 150 mètres ; en même temps la langue terminale s'élargissait de 150 mètres et atteignait une épaisseur de 70 mètres¹.

Les expériences du professeur E. von Drygalski sur le Grand Karajak, au Grönland, avaient déjà montré la production d'intumescences mobiles du glacier ; mais là l'onde de glace se manifestait dans le voisinage de la terre, et son étendue était attribuée au retard produit par la rive sur l'écoulement de la glace².

Les expériences de MM. J. Vallot, Blümcke, Hess, et Finsterwalder expliquent parfaitement le processus des variations de longueur.

Se produit-il un enneigement considérable dans le bassin d'alimentation, cette masse de neige, souvent répartie sur une surface très considérable, descendra avec le glacier et produira, dans la partie inférieure, une intumescence très notable, en raison du resserrement de la gorge par laquelle elle doit passer. Il se produira alors une énorme vague, qui emploiera pour descendre un temps

1. S. FINSTERWALDER, *Die Erscheinungen welche einem Gletschervorstoß vorangehen*, p. 182.

2. *Grönland-Expedition der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1891-1893, unter Leitung von ERICH VON DRYGALSKY*. Berlin, Kühl, 1897, I, pp. 225 et 239.

plus ou moins long, et augmentera l'épaisseur de la langue du glacier durant une période de plusieurs années. Ce sera une variation primaire.

Si, au contraire, l'enneigement n'a pas été très important, l'onde de glace sera peu considérable, comme celle observée par M. Vallot, et son arrivée à l'extrémité inférieure du glacier déterminera seulement une crue secondaire, si encore les circonstances sont favorables.

Cette théorie explique parfaitement, non seulement la production des crues, mais encore certaines anomalies bizarres observées en Norvège et au Spitsberg.

Entre 1866 et 1870, la glaciation a commencé à décroître sur le plateau supérieur du Folgefonn¹ (Norvège). Or jusqu'en 1896, un de ses émissaires, le Buarbræ, a progressé ou est demeuré en état de maximum stationnaire. En 1883, le Fonddalsbræ, un des courants issus du Svartis (Norvège), s'allongea, en même temps que l'épaisseur de la partie supérieure diminuait. Au Spitsberg, M. Garwood a observé que le glacier Tonnant (Booming Glacier), un glacier du type alpin, en crue au moment de son passage, était affaissé dans sa partie supérieure.

Lorsqu'il y a excès de neige dans le bassin d'alimentation, c'est-à-dire sur le plateau supérieur pour les glaciers du type *inlandsis*, ou dans le cirque s'il s'agit d'un glacier alpin, cet excès de neige engendre une onde plus ou moins épaisse, qui s'écoule par les émissaires. Plusieurs années se passent avant l'arrivée de cette vague à l'extrémité inférieure du glacier, où elle produira un allongement. Pendant ce temps, un déficit peut se produire dans l'enneigement; par suite, il y aura diminution de glaciation dans la partie supérieure du glacier,

1. Plateau recouvert de glaciers, situé sur la rive Ouest de la branche méridionale du Hardangerfjord.

alors que les émissaires, gonflés par le passage de l'onde, sont en progression ; et cette diminution sera d'autant plus rapide qu'une partie de la nappe supérieure¹ est souvent située au-dessous de la limite supérieure des neiges persistantes, et subit par suite directement les effets des variations météorologiques.

En résumé, les crues des glaciers paraissent présenter les mêmes manifestations que celles des cours d'eau, c'est-à-dire que le niveau baisse dans le bassin supérieur par suite de l'écoulement vers l'aval de la masse en excédent, alors qu'il s'élève dans les régions voisines de l'embouchure, en raison de l'arrivée de l'excédent expulsé des régions sises en amont.

Donc, le régime d'une calotte glaciaire, en Norvège, est indiqué par la position, non point du front de ses émissaires dans la vallée, mais de ses bords sur le plateau supérieur. Il doit en être de même sur les glaciers alpins.

MM. H. F. Reid et Richter ont montré que les variations des glaciers dépendent des oscillations de la ligne des névés, par suite de l'enneigement, sous les influences météorologiques. Il est donc très important d'observer les bassins d'alimentation. Les nivomètres enregistreurs de M. A. Hamberg rendront à cet égard de grands services. En attendant que des stations nivométriques soient installées en nombre suffisant dans les régions glacées, on ne saurait trop engager les alpinistes à récolter des renseignements auprès des guides sur l'enneigement des bassins supérieurs². Le professeur Lugeon a recueilli à

1. Au Folgefonn (Norvège), la limite supérieure des neiges est située entre 1,450 et 1,550 mètres ; par suite la plus grande partie de la coupole glacée se trouve en dessous de cette limite. Au Jostedal (Norvège), cette limite se trouve entre 1,600 et 1,650 mètres, et comprend une bonne partie du plateau supérieur.

2. La situation est révélée par l'émergence ou la disparition de rochers ou par le recul ou l'avancement des neiges sur les pentes.

cet égard de très intéressants renseignements en Suisse.

D'après l'enquête à laquelle s'est livré ce distingué naturaliste, la ligne du névé, qui est située en Suisse, en temps normal, à 2,700 mètres, est remontée en 1900, peut-être même dès 1898, à 3,100 mètres; dans le massif du Mont-Blanc et dans le Valais, elle semble même avoir rétrogradé jusqu'à 3,300 mètres. D'autre part, des névés isolés, inférieurs à l'altitude de 2,700 mètres, et qui persistent dans les années normales, ont presque entièrement disparu en 1900. Un appauvrissement considérable de la réserve de neige dans les parties supérieures du névé est indiqué par l'émersion de rochers inconnus jusque-là, et par un amincissement général des neiges et des glaciers dans les hautes altitudes. Il y a donc lieu de prévoir un nouveau recul notable et prochain des glaciers ¹.

Depuis longtemps le professeur Forel avait annoncé que les crues déterminaient une augmentation de la vitesse d'écoulement. Les observations faites sur la Mer de Glace et sur le glacier de Vernagt ont confirmé cette hypothèse, et montré qu'un gonflement du glacier amène une accélération dans l'écoulement, proportionnelle à ce gonflement. La vitesse est fonction de la hauteur du niveau. De 1889 à 1891, la langue terminale du Vernagtferner était en retrait, alors que la vitesse maximum annuelle d'écoulement du Vernagt, sur un profil placé à 1,500 mètres de son extrémité inférieure, a été de 17 mètres. Tandis que cette régression se poursuivait, la vitesse d'écoulement augmentait sur le profil : 25 mètres de 1891 à 1893, 50 mètres de 1893 à 1895, 69 mètres de 1895 à 1897, 196 mètres de 1897 à 1898, 250 mètres de 1898 à 1899, et 205 mètres en 1899-1900. Alors se produisit à l'extrémité inférieure la

1. L'enneigement en 1900 (*Les variations périodiques des glaciers des Alpes*, Vingt-unième rapport, 1900), in *Jahrbuch d. S. A. C.*, XXXVI.

crue rapportée plus haut. Une augmentation de la vitesse dans la partie inférieure du glacier est donc l'indice certain d'une prochaine progression de sa langue terminale.

*
* *

Tous les glaciers des Alpes n'ont pas été touchés par la crue passagère de la fin du XIX^e siècle; en second lieu, la rapidité de leur mouvement de progression ou de régression est très variable. Ainsi le glacier de Zigiorenove (Val d'Hérens) éprouve des crues et décrues très rapides, comme l'indique le tableau suivant, dressé d'après les rapports du professeur Forel :

<i>Crues</i>	<i>Décrues</i>
1880-1885 + 323 mètres	1897 — 73 mètres
1886-1887 + 50 —	1898 — 49 —
1889 + 50 —	1899 — 43 —
1890 + (?)	1900 — 63 —
1891 + (?)	
1892 + 100 —	
1893 + 102 —	
1894 + 74 —	
1895 + 25 —	
1896 + 5 —	

Le Vernagtferner (Ötztal) est célèbre, d'autre part, par la rapidité et par l'ampleur de ses oscillations. De 1848 à 1888, ce glacier a reculé de 2,500 mètres, puis il a avancé de 200 mètres en 1899 et de 150 mètres en 1900. Comme terme de comparaison, rappelons que de 1856 à décembre 1889, le glacier des Bossons, autrement important que celui de Zigiorenove, a reculé seulement de 236 mètres !

1. FOREL, *Les variations périodiques des glaciers des Alpes*. Dixième rapport, 1889, in *Jahrbuch d. S. A. C.*, XXV (p. 19 du tirage à part).

D'après le professeur Finsterwalder¹, et c'est aussi notre avis, il y a lieu de diviser les glaciers en glaciers peu sensibles et en glaciers sensibles. Chez les premiers, il y a équilibre presque constant entre l'alimentation et les ablations; leur recul serait déterminé par l'accumulation de petites différences en faveur des ablations, et affecterait uniformément toute la langue terminale. Chez les seconds, la sensibilité dériverait, au contraire, de l'absence de cet équilibre; parfois l'alimentation ferait complètement défaut à leur extrémité inférieures et seule une fusion très active exercerait ses effets. La décroissance est alors rapide, tellement rapide même, dans certains cas, que des fragments du front sont complètement isolés et deviennent des glaciers morts.

Il y a donc lieu de distinguer les glaciers en glacier, paresseux et en glaciers vifs, et de rechercher les causes qui déterminent ces différences de régime.

*
**

Quelque soin que nous ayons apporté dans nos recherches bibliographiques, cette revue est très certainement incomplète. Des travaux, peut-être importants, ont pu échapper à notre attention; en tous cas, il est très probable que nous avons omis de nombreux mémoires d'importance secondaire, mais qui néanmoins sont intéressants. Nous proposant de poursuivre cette publication, nous adressons à nos confrères un pressant appel. Afin de nous permettre de présenter désormais un résumé plus complet des efforts des glaciéristes pour obtenir la solution des problèmes soumis à leurs investigations, nous prions nos collègues de nous faire parvenir en

1. S. FINSTERWALDER, *Die Erscheinungen welche einem Gletschervortoss vorangehen*, in *Verhandl. des XIII. deutschen Geographentages zu Breslau*, 1901; Berlin, 1901, Dietrich Reimer.

deux exemplaires tous leurs travaux. Enfin, aux alpinistes, nous adressons un appel non moins pressant en faveur de l'étude des glaciers.

Si les travaux méthodiques, comme ceux exécutés par M. J. Vallot en France, exigent un temps très long et des connaissances spéciales très complètes, il n'en est pas moins vrai que des renseignements très intéressants peuvent être fournis par des touristes sans aucune prétention scientifique. Pour cela, il leur suffit de regarder autour d'eux, en essayant de lire dans le grand livre de la nature. L'extension des glaciers pendant le pleistocène n'a-t-elle pas été découverte par un simple guide, par Jean-Pierre Perraudin, un esprit éveillé et observateur qui avait su déduire une conclusion des phénomènes dont il avait été témoin ?