Zeitschrift: Mémoires de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Géologie et géographie = Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Freiburg. Geologie und Geographie

Herausgeber: Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles

Band: 5 (1909)

Artikel: Revue de galciologie. Part 3, avril 1903 - 1er janvier 1907

Autor: Rabot, Charles

Kapitel: IV: Mécanisme des variations glaciaires

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-306916

Nutzungsbedingungen

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

Conditions d'utilisation

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

Terms of use

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

Download PDF: 12.07.2025

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

CHAPITRE IV.

Mécanisme des variations glaciaires.

Influence du vent sur le régime des glaciers. Rôle de l'ablation dans la production des variations. Influences permanentes s'exerçant sur le régime glaciaire. Retard des crues sur les phénomènes climatiques qui les déterminent. Chronologie.

Les variations de longueur des glaciers sont la conséquence de variations que subissent les deux facteurs qui régissent leurs dimensions : l'alimentation et l'ablation. Sur le mécanisme de ces deux phénomènes des études récentes apportent une lumière tout à fait nouvelle.

Influence des vents sur le régime des glaciers. Jusqu'ici on a considéré les précipitations comme la cause déterminante des variations de l'alimentation. D'après des observations très précises des Drs. J. Gunnar Andersson et J. Westman, se référant à l'Antarctique et à l'Arctique, le vent exerce un rôle très important dans la nourriture des glaciers. Il ne suffit pas, en effet, qu'il tombe beaucoup de neige pour que la glaciation augmente, il faut encore qu'elle demeure à la surface des appareils. Examinons les faits signalés par ces deux savants voyageurs suédois.

La partie de l'Antarctique située dans le sud de l'Amérique réunit actuellement toutes les conditions nécessaires à l'existence d'un maximum de glaciation. Les précipitations neigeuses y sont très abondantes, et la fusion des neiges très faible, pendant seulement 5 % des jours de l'année la température étant supérieure à 0°. Quoiqu'il en soit, depuis une époque géologique relativement récente la glaciation a subi dans cette région une diminution considérable.

Cette régression, le Dr J. Gunnar Andersson n'hésite pas à l'attribuer à une modification survenue dans le régime des vents. « Pendant notre hivernage, écrit le savant géologue suédois, bien des fois se produisirent par temps calme ou par de faibles brises des chutes de neige qui recouvraient le sol d'une couche pulvérulente, épaisse de plusieurs centimètres. Mais cela durait peu. Bientôt commençait à souffler la tempête de sud-ouest qui avait bientôt fait de jeter à la mer la plus grande partie de la couche et d'amasser le reste en « congères [1]) » très compactes. La tempête devenait-elle un ouragan, les « congères » étaient à leur tour dispersées et même des plaques de neige dure arrachées par le vent. Pennant nos détentions dans la hutte durant ces longues tempêtes, au-dessus de notre toit passait une nuée interrompue de neige enlevée par le vent dans l'intérieur des terres et qui était rejetée à la mer ». « Ainsi actuellement une très petite quantité des précipitations neigeuses demeure sur le sol. Une diminution dans l'intensité des tempêtes, les autres éléments du climat demeurant sans changement, aurait certainement pour effet d'augmenter l'enneigement et par voie de conséquence de déterminer une aggravation de la glaciation. » [2])

Au Spitsberg également, d'après M. J. Westman, l'action des vents exerce une influence considérable sur les variations de la glaciation. Précédemment (chapitre I) nous avons signalé l'énorme quantité de neige que les tempêtes de sud transportent des terres basses de la côte septentripnale de l'archipel sur la banquise. Sur les montagnes les coups de vent n'enlevent pas une moindre quantité de neige. Ainsi le 10 mars 1900, le glacier Dunér, voisin de la station d'hivernage, était par endroits libre de neige, et

---

[1]) Amas de neige entassé par le vent dans une dépression.

[2]) Otto Nordenskjöld, J. Gunnar Andersson, C. A. Larsen och C. Skottsberg. *Loc. cit.*, II. p. 313. Voir également Dr Otto Nordenskjöld. *Au Pôle Antarctique* traduit par Charles Rabot. p. 259.

nombre de ses crevasses ouvertes ou recouvertes seulement d'une couche très mince.

« Dans la région côtière septentrionale du Spitzberg balayée par violentes tempêtes de sud, le transport éolien des neiges de l'intérieur des terres vers la mer doit diminuer dans une certaine mesure l'intensité de la glaciation », ajoute M. Westman [1]). « D'un autre côté, ces tempêtes peuvent amasser de grandes masses de neige dans les vallées et causer ainsi en certaines localités un accroissement de glaciation. »

De semblables phénomènes de transport se produisent dans nos régions. Lorsque sur les cimes glacées souffle une tempête, ne sont-elle pas, en effet, enveloppées d'un panache de neige que le vent chasse horizontalement devant lui. Les montagnes « fument », disent en pareil cas les indigènes. Sur ce rôle du vent dans la distribution des neiges il a été fait pendant l'hiver 1907 d'intéressantes observations dans les Pyrénées. En février 1907, est tombée sur le Pic du Midi de Bigorre (2859 m.) une masse énorme de neige. La lame d'eau produite par ces chutes a été 405^{mm}, le triple de la normale ! Mais la plus grande partie de cette neige n'est point demeurée sur la cime ;elle a été enlevée par le vent et accumulée dans les vallées en couches d'une épaisseur exceptionnelle [2]).

Aux abords de la Brèche de Roland (2804 m.), à quelques mètres près la même altitude que le Pic du Midi, M. L. Gaurier a fait une observation semblable. Malgré l'abondance des précipitations hivernale, le 1er avril 1907, la couche de neige était sur ce point extrêmement mince ; son épaisseur ne dépassait pas celle constatée par ce géologue le 1er juin précédent. En revanche plus bas, entre 2400 et 1800 m. l'enneigement était considérable. Dans cette

---

[1]) *Loc. cit.* p. 44.

[2]) *Bulletin mensuel du Bureau central météorologique de France.* Année 1907, n° 2, février 1907, p. 13.

région, m'écrit M. L. Gaurier, le vent avait amoncelé la neige en dunes hautes de 6 à 8 m. » Là également le vent avait donc chassé des sommets les énormes quantités de neige tombées pendant l'hiver et les avait entassées plus bas, dans des régions abritées, où elles furent perdues pour l'alimentation des glaciers.

Le phénomène signalé dans les zones polaires par MM. J. Gunnar Andersson et Westman se produit donc dans nos montagnes, et, peut-être, dans nos pays comme dans l'Arctique et l'Antarctique, le recul de la glaciation est-il déterminée par une augmentation dans la fréquence des tempêtes ou par la prédominance de vents défavorables à l'accumulation des neiges dans les cirques glaciaires? Il y a là, en tout cas, une indication qui s'impose à l'attention des glaciéristes, et cela d'autant plus qu'au moyens des *ski* l'accès de la haute montagne en hiver est aujourd'hui facile.

Après avoir été jusqu'ici considérée comme ayant un rôle subordonné dans la production des variations, l'ablation paraît être, au contraire, d'après de nouvelles observations, le facteur déterminant de ces phénomènes.

Examinons les faits.

L'étude comparée des variations secondaires du Jostedalsbræ (Norvège) avec le régime météorologique a conduit, le premier, le Dr J. Rekstad à reconnaître que ces oscillations glaciaires dépendent moins de la somme des précipitations hivernales qui sont la source de l'alimentation des glaciers que de la température estivale qui détermine l'intensité de la fusion [1]).

De 1889 à 1901 les précipitations hivernales dans les stations météorologiques voisines du Jostedalsbræ ont été supérieures à la normale de 15,1 pour cent. Pendant cette période les précipitations annuelles ont également dépassé

---

[1]) J. Rekstad, *Fra Jostedalsbræen* (p. 70 du tirage à part).

la moyenne. Les glaciers ont donc reçu une suralimentation, par suite ils auraient dû avancer. Pour quelle raison ce phénomène ne s'est-il pas produit ? Parce que, répond M. Rekstad, l'ablation a été très intense et a détruit l'effet de cette suralimentation. De 1889 à 1901 la température moyenne estivale et la température moyenne annuelle ont été supérieures à la normale, la première de 0°,44.

De 1868 à 1870-1871 les glaciers du Jostedalsbræ ont éprouvé une crue secondaire. Quelle a été la cause de cette poussée en avant ? Une augmentation des précipitations ? Non point. De 1863 à 1869 les précipitations hivernales ont été peu abondantes, légèrement inférieures à la moyenne, tandis que pendant cette période la température estivale a été déficitaire, en moyenne de 0°,3 par rapport à la normale, et même de 0°,5 dans une station.

A la Nouvelle Zélande, semblable phénomène s'est produit. De 1898 à 1906 les précipitations hivernales ont été inférieures à la normale et le déficit dans l'alimentation s'est traduit, tout au moins pour le glacier de Mueller, par un ralentissement dans la vitesse d'écoulement. Quoiqu'il en soit, ce g acier et celui de Tasman ont fait alors une petite crue, le premier de 75 à 70 m. le second de 15 à 45 m. — Comment expliquer cette progression ? Uniquement par une diminution de l'ablation, répond le topographe chargé de la surveillance de ces appareils [1]). De 1898 à 1906 les étés ont été froids, par suite la fusion s'est trouvée ralentie, et, quelque lent qu'ait été le mouvement d'écoulement des glaciers, es fronts ont pu progresser.

Les études de MM. Ch. Jacob et G. Flusin sur la petite crue de la fin du XIXe siècle dans le massif du Pelvoux confirment ce rôle prépondérant de l'ablation.

Antérieurement à 1885 les glaciers de ce groupe ont reçu un supplément d'alimentation. La preuve, d'après nos

---

[1]) New Zealand. Thomas Humphris, *Report on the Department of Lands; Surveys, for the year 1905-1906*, p. 17 et les deux cartes jointes.

collègues, c'est que tous ont éprouvé un gonflement dans leurs parties supérieures. Or, pendant la période décénnale suivante n'ont avancé, à la suite de ce gonflement, que les appareils qui, en raison de leurs conditions topographiques, sont peu soumis à l'ablation. Au contraire, tous les glaciers, ayant un bassin d'alimentation de faibles dimensions et une zone de fusion étendue, c'est-à-dire ceux sur lesquels l'ablation peut agir avec une très grande intensité, ont subi des pertes aussi importantes que pendant la période antérieure. Les gonflements observés dans leurs parties supérieures se sont bien propagés vers l'aval, mais ils ont été détruits en route par la fusion. C'est donc, disent MM. Jacob et Flusin, la preuve que de 1885 à 1895 l'intensité de l'ablation ne s'est pas atténuée. Autrement les appareils tout particulièrement sensible à ses effets seraient demeurés stationnaires ou même auraient avancé à la suite de la suralimentation qu'ils avaient précédemment reçue.

En résumé les glaciers du Pelvoux ont eu un surcroit de nourriture, mais la fusion n'ayant pas diminué, sur un grand nombre d'entre eux les effets de cette suralimentation n'ont pu se manifester [1]).

Dans le même ordre d'idées les Alpes dolomtiques fournissent une observation intéressante [2]). De 1899 à 1901 les petits glaciers du Sorapiss et du Cristallo ont éprouvé un très fort recul. Pendant cette période les stations météorologiques voisines n'accusent pas un déficit correspondant dans les précipitations ; c'est donc que l'ablation s'est aggravée.

Pour les Pyrénées l'étude de MM. Eydoux et Maury

---

[1]) Ch. Jacob et G. Flusin, *La crue glaciaire de la fin du XIXe siècle et les différents facteurs qui ont déterminé les anomalies de cette crue dans le massif du Pelvoux,* in *Comptes rendus des Séances hebd. de l'Académie des Sciences.* Paris. 12 déc. 1904.

[2]) Dott. Antonio Renato Toniolo, *Risconti su recenti oscillazioni dei ghiacciai dei groppi Sorapiss e Cristallo nelle Alpi cadorine (Autumno 1905)*, in *Rivista geografica italiana*, Florence, Ann. XIII, Fasc. VIII, oct. 1906, p. 466.

concernant le bassin de la Neste [1]) confirme le rôle prépondérant de la fusion. Les observations pluviométriques faites à Arreau, Bagnères de Bigorre et au Pic du Midi de Bigorre n'accusent aucune diminution des précipitations de 1888 à 1906. Pareillement pour la même période « il n'est pas possible de constater une diminution » dans les débits annuels du bassin d'Orédon ; « il semblerait plutôt qu'il y ait une légère augmentation ». « Il ne nous paraît donc pas rationnel, ajoutent MM. Eydoux et Maury, d'expliquer la rétrogradation des glaciers par une diminution des quantités de pluie ou de neige tombées ». D'après nos confrères, « deux autres raisons peuvent être invoquées avec plus de vraisemblance, pour expliquer ce phénomène : une variation dans la répartition saisonnière des précipitations atmosphériques et une élévation de la température moyenne, surtout en hiver. »

Ces observations sur le rôle prépondérant de l'ablation dans la production des variations glaciaires viennent de recevoir une éclatante confirmation pour les Alpes suisses.

Jusqu'ici le professeur Forel, l'éminent rénovateur des études glaciaires à la fin du XIXe siècle, avait soutenu, avec une grande apparence de raison, la préeminence du facteur alimentation dans la genèse du phénomène. En présence de faits nouveaux le doute lui est venu, et, appliquant la sagacité de son esprit libre de tout préjugé d'école à l'étude de la longue série d'observations météorologiques exécutées à Genève, il a dégagé de cette enquête deux faits d'une importance capitale à l'appui de la théorie nouvelle [2]). Calculant les écarts par rapport à la normale de la somme des chutes d'eau tombées à Genève par décade et pour chaque année de 1826 à 1906, le professeur Forel est arrivé au résultat suivant :

---

[3]) D. Eydoux et L. Maury, *Les Glaciers orientaux du Pic-Long*, in *La Géographie*, XVI, 1, juillet 1907, p. 1 (avec une carte).

[1]) F. A. Forel, M. Lugeon, E. Muret, E. Argand. *Les Variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. XXVIIIe Rapp. 1907*, in *Jahr. d. Schw. Alpenklub*, XLIII, Berne, 1908.

De 1835 à 1842	il y a eu	déficit	de pluie.
De 1843 à 1853	»	excès	»
En 1854	»	déficit	»
De 1855 à 1856	»	excès	»
De 1857 à 1878	»	déficit	»
De 1879 à 1906	»	excès	»

Après cela, calculant les écarts de la température estivale par rapport à la normale, à Genève et pendant cette même période 1826-1906, notre confrère arrive à ce résultat que

De 1826 à 1837	il y a eu	excès	de température	estivale.
De 1838 à 1857	»	déficit	»	»
De 1858 à 1879	»	excès	»	»
De 1880 à 1883	»	déficit	»	»
De 1884 à 1906	»	excès	»	»

Ce dernier tableau est significatif. Toutes les périodes d'excès ou de déficit de température estivale concordent avec les phases de décrue ou de crue des glaciers suisses. « La coïncidence est tellement marqué, écrit le professeur Forel, que je dois la signaler ; j'en déduis que peut-être, oserai-je dire que probablement les variations générales de la température estivale interviennent plus que nous ne l'avons cru jusqu'à présent dans les variations de grandeur des glaciers ». Si, au contraire, on compare les dates des phases pluviaires à celles des variations glaciaires, on voit qu'elles ne cadrent pas. La décrue secondaire survenue dans le cours de la crue primaire de la première moitié du XIXe siècle a pris fin avant le commencement de la période pluviaire 1843-1853 et précisément au début de la phase froide 1838-1857. Enfin, ce qui est beaucoup plus remarquable, c'est le peu d'influence exercée par l'abondance des précipitations de 1879 à 1906 sur le régime des glaciers. A la première de ces dates les glaciers ont augmenté d'épaisseur, comme on l'a vu en Dauphiné, mais un petit nombre seulement ont avancé et seulement pendant quelques années, évidemment, par suite du déficit de la température estivale de 1880 à 1883. Ensuite, malgré l'abon-

dance des précipitations, en raison de l'excès de température, les glaciers ont continué à reculer ; sur un certain nombre, d'appareils il y a eu toutefois atténuation de la régression par rapport à la période antérieure à 1879. Ce ralentissement dans la rétrogradation des fronts serait peut-être le résultat de l'excès des précipitations durant le cycle envisagé.

Le professeur Forel explique cette situation par le « retard de la période ». Il estime que les variations dans l'enneigement du réservoir ne réagissent qu'à très longue échéance sur la langue terminale du glacier. A notre avis, l'observation n'est pas d'accord avec cette théorie. Jusqu'à la fin de 1906 les névés supérieurs, loin d'être gonflés, étaient très amaigris, et, chaque été amenait l'apparition de pointements rocheux précédemment couverts dans les cirques supérieurs. La copieuse alimentation que les glaciers ont reçue ne leur a pas profité ; elle a été absorbée par la fusion estivale ou a servi à l'atténuer.

Les variations de grandeur des glaciers ne sont d'ailleurs que la manifestation visible d'un phénomène général qui est la variation en altitude de la ligne climatique des neiges. Les deux auteurs qui ont récemment étudié cette limite en Europe, le Dr Jegerlehner et le Dr J. Rekstadt, sont d'accord pour attribuer à la température un rôle prépondérant dans sa position. « Tout au moins, dans les Alpes suisses, écrit le Dr Jegerlehner, sur l'altitude de la ligne des neiges la somme des précipitations atmosphériques exerce une influence moindre que la température ». Ce glaciériste considère même ce dernier facteur comme décisif *(auschlaggehende)* dans la position de cette ligne [1]). Le Dr J. Rekstad n'est pas moins formel. En Norvège comme en Suisse, écrit-il, de la température moyenne des mois de mai, juin, juillet et août, dépend l'altitude de la ligne

---

[1]) J. Jegerlehner, *Die Schneegrenze in den Gletschergebiete der Schweiz.* in *Gerland's Beiträgen zur Geophysik*, V. 3, Leipzig, 1902, p. 541 et 542.

climatique, et, d'une manière générale on peut dire que cette ligne est parallèle aux surfaces isothermiques de la période considérée [1]). L'expérience des trois dernières années, notamment celle de 1906, dans les Alpes, est à cet égard probante. Dans le massif du Pelvoux notamment, après un hiver très neigeux, les chaleurs torrides de l'été 1906 ont fait remonter la ligne des neiges à une hauteur qu'elle n'avait jamais atteinte depuis de longues années.

De toutes ces observations ressort l'importance capitale de la fusion dans la production des variations, mais on ne doit pas aller d'une extrême à l'autre et refuser maintenant toute influence à l'alimentation. Comme nous le verrons plus loin, sur des glaciers présentant des conditions topographiques spéciales, elle peut, en effet, seule déterminer une crue.

Si on examine les tableaux des oscillations climatiques de Génève dressés par le professeur Forel, on remarque que la décrue glaciaire si intense de 1860 à 1879 coïncide avec une période d'étés chauds (1858-1879) et que la grande crue qui a pris fin vers 1856 cadre avec une période de température estivale déficitaire (1838-1857) et une phase pluviaire (1843-1853). Grâce à la basse température estivale de cette dernière phase, le produit d'abondantes précipitation a pu être emmangasiné dans les réservoirs, et servir à engraisser les glaciers. De là cette conclusion probable que les variations primaires sont engendrées par les variations simultanées ou quasi-simultanées des deux facteurs de l'alimentation.

Influences permanentes s'exerçant sur le régime glaciaire

Le régime des glaciers présente de nombreuses anomalies. Lors d'une crue primaire certains appareils des Alpes font une poussée d'un ou deux kilomètres, tandis que d'autres progressent seulement de quelques centaines de mètres, pa-

---

[1]) J. Rekstad, *Die Abhängigkeit der Lage der Schneegrenze von den Sommerisothermen in Norwegen*, in *Christiania Videnskabs-Selskabs Forhandlinger for 1907*, n° 7, Christiania, 1907.

reillement durant une grande décrue quelques glaciers perdent en longueur de 1000 à 1500 mètres, tandis que d'autres reculent très peu. Dans les variations secondaires le phénomène devient encore plus remarquable ; on voit alors des glaciers reculer, en même temps que d'autres avancent. Toutes ces anomalies sont la conséquence d'influences permanentes qui multiplient ou atténuent les événements climatiques qui régissent le régime des glaciers. Ces influences sont : 1° la forme des bassins d'alimentation et des vallées d'écoulement ; 2° l'exposition des appareils ; 3° la protection contre la fusion par un revêtement morainique.

1° *Forme des bassins d'alimentation et des vallées d'écoulement.* Suivant leurs formes topographiques les glaciers sont particulièrement sensibles soit à l'alimentation, soit à fusion. Selon la pittoresque expression de MM. Ch. Jacob et G. Flusin, il y a des glaciers nivomètres et des glaciers fusiomètres. A la première classe appartiennent les appareils possédant un bassin d'alimentation étendu et une courte zone de fusion. Il est clair que, dès qu'un appareil présentant cette configuration reçoit une suralimentation, il se produit, à l'entrée du canal d'écoulement, un afflux, de glace et que cet afflux fait sentir son effet jusqu'au front, la fusion ne pouvant le détruire sur le court espace qu'il a à parcourir à découvert, pourrait-on dire. Ainsi dans le massif du Pelvoux seuls ont subi la crue secondaire de la fin du XIXe siècle ceux réunissant ces conditions topographiques : les glaciers de cirque (*Kargletscher*) et le glacier Blanc. Et leur avancée a été d'autant plus accusée que leur réservoir était plus étendu. Ainsi la poussée la plus longue et la plus forte, 200 à 300 mètres, observée de 1885 à 1895, a été faite par le glacier Blanc, celui de toutes les nappes glacées du Pelvoux ayant le plus vaste bassin d'alimentation.

A la même catégorie d'appareils sensibles appartient le Vernagtferner dont les crues ont une amplitude dépassant 2 km. — Il y a plusieurs années déjà, le professeur Hans Hess a expliqué la grandeur des variations de ce courant

par l'étendue de son bassin d'alimentation et l'étroitesse de son canal d'écoulement. Notre confrère allemand a le premier mis en évidence l'importance de la configuration des glaciers dans la production de leurs crues. Cette observation a été ensuite généralisée par le professeur Harry Fielding Reid. « Tout glacier, dit notre collègue américain, que la ligne de névé coupe dans une région où il est large et dont la zone de fusion suit une étroite vallée, est soumis à de grandes variations de longueur. En effet, le plus léger déplacement dans la position de la ligne de névé entraîne un changement considérable dans les étendues relatives du réservoir et de la zone de fusion, et pour rétablir l'équilibre, cette dernière partie doit s'allonger considérablement [1]).

A la classe des glaciers fusiomètres appartiennent tous les appareils possédant un bassin d'alimentation restreint et une zone de fusion étendue. Tels, par exemple, dans le massif du Pelvoux les glaciers-témoins, de petites plaques collées contre le rocher à l'altitude de 3000 m. environ, et, les glaciers de vallée qui ont un réservoir restreint, mais qui s'allongent sur une distance de 2 à 3 kilomètres, entre les altitudes de 2500 à 2000 m. Ces appareils reçoivent-ils d'abondantes neiges, leurs névés supérieurs gonflent, mais ce gonflement est mangé par la fusion, avant d'arriver au front, pendant le long trajet qu'il doit effectuer dans la basse vallée; par suite leur langue terminale ne progresse pas.

Les observations poursuivies par le professeur F. A. Forel depuis vingt-sept ans l'ont amené à diviser les glaciers en appareils sensibles et peu sensibles. Les premiers sont ceux qui ont réagi lors de la crue secondaire de la fin du

---

[1]) Harry Fielding Reid, *The Relation of the Blue Veins of Glaciers to the Stratification with a note on the Variations of Glaciers*, in *Comptes rendus du IXe Congrès géologique international de Vienne. 1903.* Vienne, 1904.

XIXe siècle, et les seconds ceux qui pendant cette période n'ont point suspendu leur retraite. A notre avis, les glaciers sensibles seraient les appareils chez lesquels, en raison de leur configuration, l'alimentation peut exercer son effet indépendamment de l'ablation et les glaciers peu sensibles sont ceux dont l'allure est réglée par l'ablation.

2° *Exposition.* L'exposition est un facteur multiplicateur ou atténuant du régime climatique dominant.

Les vallées glaciaires ont, comme les autres vallées, un de leurs versants exposé au soleil et l'autre à l'ombre. Naturellement dans la partie ensoleillée la fusion est plus intense que dans la partie à l'ombre; par suite durant les périodes de recul, la zone du glacier la plus éclairée rétrograde plus rapidement que celle soustraite la plus grande partie de la journée aux rayons solaires. Ainsi de 1895 à 1901 la portion du front du glacier de la Lobbia exposée à l'ouest a reculé de 130 m., tandis que, pendant la même période celle tournée vers l'est a perdu seulement 50 m. — Donc l'extrémité inférieure d'un glacier affecte une configuration en conformité avec la puissance et la durée de l'insolation à laquelle elle est soumise. Le plus généralement elle se partage en deux lobes d'inégale étendue: le plus long dans la partie à l'ombre, le plus court sur le versant au soleil ; d'autres fois, elle forme une muraille oblique à l'axe de la vallèe et faisant face à la direction de l'éclairage. Ce dernier cas se trouve réalisé au glacier Victoria [montagnes Rocheuses, Canada]. Encaissé entre de hautes falaises à pic, cet appareil n'est frappé par le soleil, même au milieu de l'été, qu'après 7 h. 30 du matin et seulement dans sa partie nord-ouest ; aussi bien, son front est-il oblique par rapport à la direction de la vallée orientée dans cette direction.

Dans le massif du Khan Tengri (Tian-Chan) où la température estivale atteint un degré inconnu dans nos Alpes, l'influence de l'exposition sur la position du front des glaciers se révèle avec une très grande ampleur. Ainsi le front du glacier Semenov qui occupe une vallée ou-

verte en plein ouest est fractionné en deux langues de longueur très inégale. Celle tournée au nord, par suite à l'ombre, s'étend à un kilomètre au-delà du point où s'arrête celle exposée au sud, qui se trouve frappée par le soleil aux heures les plus chaudes. Cette disposition en deux lobes de longueur très inégale s'observe sur tous les glaciers du Khan-Tengri orientés suivant cette même direction. En grande partie, par suite de cette exposition est-ouest, le glacier Semenov a relativement plus reculé que ceux de ses affluents tournés vers le nord [1]).

Quelle influence protectrice exercent les crêtes sur les appareils sous-jacents, cela ressort de l'ablation singulièrement considérable que subissent les glaciers de plateau qui, eux, sont complètement à découvert. Ainsi en 1903 le glacier du Mulinet, qui appartient à cette catégorie, perdait en moyenne 12 mètres, tandis que son voisin immédiat, le Grand Méan, en partie encaissé, demeurait stationnaire[2]).

Non seulement le lobe d'un glacier à l'ombre recule moins que celui exposé au soleil, mais encore il peut faire une crue, tandis que l'autre partie de l'appareil continue à rétrograder ; ce qui est une nouvelle preuve de l'importance de la fusion dans la genèse des variations. Ainsi, d'après les observations de M. P. Mougin, du 22 juin 1905 au 28 juin 1906, le lobe du glacier Bionnassay à l'ombre a progressé de 7 m., alors que celui situé au soleil a rétrogradé de 22 m. — Ce phénomène est très fréquent, comme le montrent les observations exposées au chapitre V, notamment celles concernant le Tyrol. Il est déterminé par une onde de glace, produite par une suralimentation des névés supérieurs, laquelle se propage jusqu'au front dans la partie du glacier à l'ombre, grâce à la moindre intensité de l'ablation, tandis que dans le lobe ensoleillé la fusion la liquéfie en route.

---

[1]) G. Merzbacher, *Forschungsreise in Tian-Schan.*

[2]) Paul Girardin, *Observations glaciaires en Maurienne, 12 août — 24 septembre 1903*, p. 11 du tirage à part.

Ainsi, de même que certains glaciers sont en raison de leur configuration topographique régis soit par l'ablation, soit par l'alimentation, chaque appareil possède, d'après son exposition, un lobe soumis principalement à la fusion, et un autre sur lequel se reflètent toutes les variations survenues dans l'alimentation. Pour connaître le régime d'un glacier, il ne suffit donc pas, comme on le fait trop souvent, de dire qu'il a avancé ou reculé de tant de mètres, il est de plus nécessaire d'indiquer le sens et la valeur de la variation devant chaque lobe.

3° *Protection contre la fusion par un revêtement morainique.* Les glaciers logés dans de profondes dépressions et entourés d'escarpements à pic reçoivent d'énormes masses de débris détritiques, si bien que sur une partie de leur cours la glace est masquée par un revêtement morainique. Tel est le cas pour divers appareils des crêtes centrale et orientale de la partie des Rocheuses située sur le territoire canadien, notamment pour les glaciers Victoria, et ceux des vallées des Ten Peaks, et de la Consolation. Grâce à cette couverture, grâce aussi à l'ombre projetée par les crêtes encaissantes, ces nappes de glace se trouvent soustraites en partie à la fusion et par suite n'ont éprouvé qu'un très faible recul depuis une longue période [1]). Bien plus, l'un d'eux, le glacier de la vallée de Ten Peaks est même actuellement en état de maximum et continue à avancer. Or, cet appareil est encore plus chargé de débris que les autres, et c'est à cette protection que Mlle I. H. Ogilvie attribue cette crue.

Une autre conséquence de la protection que cette couverture exerce est de permettre à ces glaciers de s'étendre jusqu'à la côte 1800 m. alors que les autres appareils des montagnes Rocheuses qui ne se trouvent pas dans ces conditions s'arrêtent à 2550 m. environ. C'est à la même cause que l'on doit attribuer la différence de 500 m. que présen-

---

[1]) I. H. Ogilvie, *Loc. cit.*

tent les altitudes des fronts des glaciers Semenov et Mouchketov dans le Tian Chan (3600 m. et 3100 m.).

Ces diverses observations montrent que chaque glacier a pour ainsi dire un tempérament particulier résultant de sa configuration, de son exposition et de l'intensité du phénomène morainique, et que suivant ce tempéramment il traduit les phénomènes climatiques qui l'affectent. Il est donc nécessaire de connaitre ce que l'on pourrait appeler l'estomac de chaque glacier, afin d'apprécier les valeurs numériques de ses oscillations.

Retard des crues sur les phénomènes climatiques qui les déterminent. Lorsque dans le bassin d'alimentation se produit une augmentation d'épaisseur consécutif à un enneigement progressif, une onde de gonflement se propage vers l'aval. Si cette onde n'est pas détruite en route par la fusion et arrive à l'extrémité inférieure du glacier, l'appareil s'allonge. Il s'écoule par suite un certain temps entre le moment où se produit l'augmentation du réservoir et celui où la langue terminale du glacier progresse. D'après le professeur Finsterwalder, la vitesse de déplacement de cette vague de glace est proportionnelle à celle de l'écoulement et généralement une fois et demie plus forte qu'elle [1]).

D'après ce qui vient de se passer en Norvège, on peut évaluer dans ce pays à un ou deux ans le retard que présentent les premières manifestations d'une crue et les phénomènes climatiques qui l'engendrent. Les appareils de cette contrée sont, il est vrai, très courts.

Après l'été torride de 1901 est survenu en 1902 et 1903 un enneigement progressif, déterminé par d'abondantes précipitations hivernales et un ralentissement de la fusion estivale. Après avoir été interrompu en 1904, il a repris en

---

[1]) S. Finsterwalder, *Bericht der internationalen Gletscherkommission*, in *Comptes-rendus du Congrès géologique international de Vienne*, 1903.

1905. Or, dès 1903 et 1904 quelques glaciers du Jostedalsbræ sont entrés en crue et en 1905 ce mouvement est devenu général, non seulement dans ce massif, mais encore dans toute la Norvège [1]).

D'après Harry Fielding Reid, entre l'enneigement progressif et le gonflement du réservoir s'écoule un certain intervalle en raison de l'écoulement constant du glacier vers l'aval [2]). Des opérations mathématiques ont conduit notre distingué confrère américain à admettre que cet intervalle entre l'augmentation du réservoir et l'époque des phénomènes météorologiques qui le déterminent est égal à environ le quart d'une période de crue.

Chronologie des variations glaciaires.

Les nouvelles études poursuivies au Jostedalsbræ par le Dr J. Rekstad confirment l'existence de variations primaires et de variations secondaires. Le savant directeur adjoint du Service géologique de Norvège a été amené à croire à la recurrence périodique des premiers de ces phénomènes, par une tradition recueillie au début du XVIIIe siècle dans la vallée de Jostedal. D'après cette tradition, à une époque antérieure, le glacier de Nigard aurait éprouvé une crue aussi considérable que celle de 1743 [3]). Ce témoignage est rapporté par deux auteurs dignes de foi, deux pasteurs ayant habité la vallée, l'un de 1725 à 1731, l'autre en 1742. Émanant d'habitants des pays du Nord, gens froids et observateurs, un renseignement de cette nature a une valeur beaucoup plus grande que s'il provenait d'imaginatives populations méridionales. La meilleure preuve, c'est qu'une

---

[1]) J. Rekstad, *Bræernes fremrykken sidste aar*, in *Naturen*, Bergen. XXXe Aarg., 1, janv. 1906 p. 7.

[2]) Harry Fielding Reid, *The Reservoir Lag in Glacier Variations* in *Report of the Eighth International Geographic Congress held in the United States*. 1904. Washington, 1905, p. 487.

[3]) J. Rekstad, *Fra Jostedalsbræen*, in *Bergens Museums Aarbog*, Bergen, 1904, I.

tradition du même genre que des indigènes nous avait racontée au sujet du Svartis a été confirmée ultérieurement par la découverte de documents historiques. En 1882, plus de dix ans avant que le Dr Rekstad n'eut trouvé les documents authentiques relatant la destruction de deux fermes par une crue de l'Engabræ en 1720-1723, les habitants m'avaient exactement raconté l'événement.

D'après le Dr Rekstad, au Jostedalsbræ, les variations positives secondaires ont une amplitude de 100 à 200 m. soit environ le vingtième des variations positives primaires. Durant ces quarante dernières années, la durée moyenne des pulsations secondaires a été sur ce glacier de dix-huit ans, dix-huit ans et demi, et au Folgefonn pendant ces cinquante dernières années de dix-neuf ans [1]).

Dans les variations primaires comme dans les variations secondaires la durée de la crue est toujours beaucoup moins longue que celle de la décrue. Ainsi pour le Nigardsbræ la variation positive primaire du XVIIIe siècle ne s'est pas prolongée plus de trente ans, tandis que la variation primaire négative actuellement en cours dure depuis plus d'un siècle et demi [2]).

M. Charles Jacob propose d'écarter le qualificatif périodique que l'on accolle généralement au terme variation. S'il est certain, dit-il, que la glaciation éprouve des variations, il n'est point du tout sûr que ces phénomènes se reproduisent périodiquement au sens précis mathématique du mot et aient une égale durée [3]).

---

[1]) J. Rekstad, *Fra Jostedalsbræen* p. 68, *Variationer hos vore Bræer,* in *Naturen*. Bergen, XXX Aargang, n° 3, mars 1903, p. 65 ; *Jagttagelser fra Folgefonnens bræer*, in Norges geologiske Undersögelse. N° 43, *Aarbog for 1905*. n° 4, Kristiania.

[2]) J. Rekstad, *Variationer hos vore bræer* p. 74.

[3]) Charles Jacob, *Les variations et l'observation internationale des glaciers,* in *La Revue du Mois*, Paris, I, 12 déc. 1906, p. 734.