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: I: Neige

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: 15.07.2025

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

CHAPITRE I.

Neige.

Forme des cristaux de neige. Température de la neige. Précipitations neigeuses. Instruments d'observation. Intensité des précipitations neigeuses en fonction de l'altitude. Ablation des neiges hivernales. Avalanches. Limite des neiges et des glaciers.

L'existence des glaciers dépendant de l'abondance des précipitations neigeuses, une revue de glaciologie doit naturellement comprendre les principales études consacrées à la neige et à l'enneigement.

Formes des cristaux de neige. Trois mémoires ont été récemment consacrés à l'étude des formes qu'affectent les cristaux de neige. L'un, dû à M. Wilson A. Bentley relate des observations faites aux Etats-Unis [1]), le second, qui a pour auteur M. A. Dobrowolski, concerne les observations accomplies en 1898—1899 pendant l'hivernage de l'expédition de la *Belgica* dans la banquise antarctique [2]); le troisième embrasse les observations faites par M. J. Westman au Spitsberg, pendant l'hivernage (1899—1900), à la baie Treu-

---

[1]) *Studies among the Snow Crystals during the winter of 1901—1902 with additionnal data collected during previous winters,* in *Annual Summary of the Monthly Weather Review for 1902,* XXX, Washington. Cette étude est accompagnée de 255 très belles reproductions de cristaux de neige.

[2]) Expédition antarctique belge. *Résultats du voyage du S. Y.* Belgica, en *1897, 1898, 1899 sous le commandement de A. de Gerlache de Gomery.* Rapports scientifiques publiés aux frais du gouvernement belge sous la direction de la commission de la *Belgica*, Météorologie. *La neige et le givre* par A. Dobrowolski. Anvers. 1903.

renberg, de la mission suédoise chargée de la mesure d'un arc de méridien sur cette terre [1]).

Quelle variété de formes affectent les cristaux de neige, les expériences de M. Wilson A. Bentley le montrent clairement. En dix-sept ans cet observateur a obtenu pas moins de 1000 photographies représentant toutes des figures différentes. D'après ce météorologiste, le nombre des formes affectées par les cristaux de neige serait pour ainsi dire infini et il n'est guère permis de penser que l'on arrivera à l'épuiser. En effet, pendant l'hiver 1901-1902, M. Bentley a recueilli 200 types nouveaux, plus que dans toute autre saison précédente. D'ailleurs, l'observation ne peut porter que sur une portion infinitésimale de l'énorme masse de neige qui compose une seule chute.

M. Dobrowolski ne paraît pas partager cette opinion. D'après ce savant, la neige en bâtonnet est relativement peu variable et le nombre des combinaisons que sont susceptibles de prendre les éléments dont l'ensemble constitue la physionomie de chaque cristal de neige lamellaire est limité.

Au milieu de la diversité des formes neigeuses, on en distingue deux primordiales, l'une dite columnaire, en bâtonnet, prismatique ou aciculaire ; l'autre tabulaire, stellaire ou lamellaire.

La forme des cristaux est influencée par l'état atmosphérique au moment de la chute, comme par l'altitude et la température des nuages, ainsi que l'avait déjà mis en évidence Scoresby [2]). D'après les observations de M. W. A. Bentley, les formes lamellaires les plus parfaites se rencontrent généralement dans les parties ouest et nord des cyclones, tandis qu'elles sont rares dans leurs parties sud et sud-est.

---

[1]) Missions scientifiques pour la mesure d'un arc de méridien au Spitsberg entreprises en 1899—1902 sous les auspices des gouvernements suédois et russe. — Mission suédoise, T. II, *Physique terrestre. Météorologie naturelle, VIIIe section. Météorologie.* — B^II *Forme et grandeur des cristaux de neige.* Stockholm. 1906.

[2]) *Account of the Arctic Regions and Whalefishery.* Edimbourg. 1820.

M. A. Bentley et J. Westman ont étudié les relations entre la température et les formes des cristaux de neige. Suivant M. J. Westman, les étoiles, fréquentes au-dessus de — 20°, tendent à diminuer en-dessous de cette température, tandis que les tables et les prismes, relativement rares au-dessus de — 20°, deviennent plus abondantes en-dessous de cette température. D'après M. A. Bentley le nombre des formes stellaires et en fougères croitrait jusqu'à cette dernière température; il a noté, en effet, que ces types étaient plus nombreux par des froids de — 15° à — 23°, que par des températures de — 9°,5 à — 15°; la proportion allait presque du simple au double. En second lieu, d'après le météorologiste américain, les formes «columnaires» étaient beaucoup plus fréquentes au-dessus de — 15° que par des températures comprises entre — 15° et — 23°. Par contre, aux Etats-Unis comme au Spitsberg, la proportion des formes tabulaires paraît augmenter avec l'intensité du froid.

Pour terminer, signalons les observations très nombreuses auxquelles s'est livré M. J. Westman sur les dimensions et le poids des cristaux de neige.

Température de la neige. M. S. A. Hjellström [1], *lecteur* à l'École supérieure de Sundsvall (Suède), a fait une très curieuse étude sur la température de la neige déposée sur le sol, qui l'ont conduit aux conclusions suivantes :

1° C'est dans la couche superficielle que la nappe de neige atteint ses plus basses températures, en raison du rayonnement et de l'évaporation très intenses auxquels elle se trouve soumise. Lorsque l'insolation devient suffisamment puissante, cette couche peut atteindre une température supérieure à celle de l'air et à celle des couches inférieures.

2° Dans une nappe de neige la température augmente en profondeur d'abord très rapidement, ensuite plus lentement.

---

[1]) S. A. Hjellström, *Observationer på snöns temperatur, M. M. utförda dels i Bjästan vintern 1885-1886 af K. Stéenhoff, dels i Sundsvall vintern 1885-1886 och våren 88 af S. A. Hjellström,* in *Sundsvalls högre allmänna läroverks årsredogörelse läsåret 1905-1906.* Sundsvall, 1906.

3° Depuis la surface de la neige jusqu'à une hauteur de 2 m. la température de l'air augmente, mais pas aussi rapidement que dans le cas précédent.

4° La couche de neige superficielle éprouve une variation de température journalière qui est la conséquence de la variation de la température de l'air ; elle se propage en profondeur, mais en s'atténuant, pour devenir imperceptible à 1 m. de la surface.

5° En raison de la mauvaise conductibilité de la neige le moment du maximum et du minimum se produit avec un retard d'environ trois heures par $0^m,10$ de profondeur.

6° La vitesse de propagation de la chaleur à travers la neige peut donc être évaluée à $0^m,03$ par heure.

7° La nébulosité exerce une influence appréciable sur la température de la neige et sur la grandeur de ses variations.

Il peut arriver que la neige commence à fondre alors que la température de l'air demeure en dessous de zéro. Le fait a été observé au Spitsberg par l'expédition suédoise de 1882 [1]). M. Hjellström attribue ce phénomène à l'insolation. La neige emmagasinerait la quantité de chaleur nécessaire à l'élévation de sa température et à sa fusion en outre de celle qu'elle rayonne et qu'elle perd par évaporation. — A la date où cette fusion a été constatée, du 14 au 21 mai, le soleil se trouvait, à midi, à 30° ou 32° au-dessus de l'horizon ; ses rayons venaient donc frapper le sol sous un angle très aigu, mais, comme les surfaces des cristaux de neige se trouvent orientées suivant les axes les plus différents, il doit arriver que, dans un grand nombre de cas, elles reçoivent normalement les rayons solaires, et par cette insolation sont ainsi amenées au point de fusion.

Ce phénomène n'a pas été observé par M. Hjellström

---

[1]) Explorations internationales des régions polaires, 1882-1883. *Observations faites au Cap Thordsen par l'expédition suédoise, publiées par l'Académie royale des Sciences de Suède.* Stockholm, 1891, T. I. 3.

dans la Suède centrale, mais il estime qu'il se produit peut être sur les hautes montagnes des régions tempérées « au-dessus de la ligne des neiges ». Le problème de la position de cette ligne se trouve donc compliqué de ce fait et il serait désirable que des recherches dans cette direction fussent effectuées dans les Alpes.

Densité de la neige. Le poids spécifique de la neige sèche par une température inférieure à 0° est en rapport avec sa structure et l'état de l'atmosphère au moment de sa chute et celui d'une couche de neige est en relation avec son âge, d'après les expériences faites dans la Norvège méridionale par M. J. Rekstad[1]). La neige tombant en menus floconspar temps calme est la plus légère (poids spécifique : 0,058 à 0,073) ; composée de gros flocons tombant toujours par temps calme, elle devient plus lourde (poids spécifique : 0,084 à 0,100). S'il y a du vent, son poids augmente proportionellement à la force de la brise (poids spécifique ; 0,100 à 0,166). Dans les montagnes où les vents sont plus violents que dans les plaines, sa densité doit être naturellement plus élevée.

A mesure qu'une couche de neige vieillit, elle devient de plus en plus lourde. En trois semaines, du 12 mars au 2 avril, M. J. Rekstad a constaté que le poids spécifique d'une couche de neige s'élevait de 0,215 à 0,343.

Précipitations atmosphériques et chutes de neige dans la haute montagne. L'alimentation des glaciers est un des principaux problèmes de la glaciologie. Il nous paraît donc utile d'indiquer les récentes observations sur l'enneigement dont nous avons eu connaissance et les sources d'information auxquelles pourront se reporter les spécialistes désireux de se documenter.

En France, dans le massif du Mont-Blanc, des observations sur l'enneigement au glacier de Tête-Rousse (altitude

---

[1]) J. Rekstad, *Einige Beobachtungen über die Dichtigkeit des Schnees,* in *Zeit. der Gletscherkunde*, Berlin, I, 2, juillet 1906, p. 151.

moyenne : 3200 m.) sont poursuivies par M. P. Mougin, inspecteur des Forêts et par M. Bernard, inspecteur-adjoint des Forêts. Elles ont donné les résultats suivants pour 1901-1902 et 1902-1903 [1] :

Hauteurs de la chute de neige au glacier de Tête-Rousse.

30 sept. 1901-2 oct 1902 1m,730 dont 0m,917 du 30 sept. 1901 au 14 juillet 1902
2 oct. 1902 5 oct. 1903 1m,940 dont 0m,882 du 2 oct. 1902 au 30 juin 1903
et 1m,058 du 30 juin 1903 au 5 oct. 1903

Hauteurs d'eau correspondantes [2].

30 sept. 1901-2 oct. 1902 0m,655 dont 0m,495 du 30 sept. 1901 au 14 juillet 1902
2 oct. 1902 5 oct. 1903 0m,662 dont 0m,435 du 2 oct. 1902 au 30 juin 1903
et 0m,227 du 30 juin 1903 au 5 oct. 1903

Cela est peu en comparaison des 1833mm qui tombent au Sonnblick (3106 m.), moyenne de quatorze années d'observation).

Il est vrai que l'épaisseur de neige relevée par MM. Mougin et Bernard sur le glacier de Tête-Rousse n'est pas la couche effectivement tombée sur le glacier, mais celle qui est définitivement demeurée à sa surface.

Pour déterminer les chutes de neige à Tête-Rousse, MM. Mougin et Bernard emploient les méthodes habituelles d'observation de juillet à octobre, période pendant laquelle est occupé l'observatoire installé par l'administration des Forêts sur le bord de ce glacier; pour le reste de l'année, ils mesurent l'épaisseur de la couche qui recouvre le glacier au moyen de piquets permanents enfoncés dans la glace. La

---

[1]) Mougin et Bernard, *Etudes exécutées au glacier de Tête-Rousse.* Météorologie, in *Ann. de l'Observatoire météorologique et glaciaire du Mont-Blanc*, VI. Paris. G. Steinheil, 1906. Cette étude constitue la première partie d'un mémoire que ces savants forestiers ont consacré au glacier de Tête-Rousse et qui a été couronné par la Commission française des glaciers.

[2]) Dans la valeur des précipitations il n'a pas été tenu compte de la tranche de pluie tombée pendant l'été, d'ailleurs extrêmement faible, non plus que de l'évaporation durant l'hiver ; l'évaporation dans cette saison est, d'ailleurs, compensée par la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air à la surface de la neige et de la glace.

densité de la nappe est obtenue en faisant la moyenne des densités des diverses strates.

En-dessous de 3000^{m}, dans les départements de la Savoie, des observations sur l'enneigement sont exécutées également par l'administration des Forêts, sous la direction de M. P. Mougin.

Pendant l'hiver 1904—1905, trente stations ont fonctionné, 9 situées à une altitude inférieure à 500 m., 10 comprises entre 500 et 1000, 7 entre 1000 et 1500, 2 entre 1500 et 2000, 3 entre 2000 et 2680.

Les observations font connaître la hauteur totale de neige tombée en hiver, le nombre des jours de neige et divers autres renseignements météorologiques intéressants, mais elles ne mentionnent ni la durée de la couverture, ni ses variations d'épaisseur.

Les trois stations les plus élevées sont : 1° la Redoute ruinée (2409^{m}) au-dessus de Bourg-Saint-Maurice ; 2° la Turra (2490^{m}) ; le col de Sollières (2680^{m}).

A la Redoute ruinée la violence des vents rend l'observation des chutes de neige pour ainsi dire impossible. Ainsi pendant l'hiver 1902-1903 pour cette cause il n'a pu être fait que six mensurations.

Dans les deux autres stations l'on a obtenu les résultats suivants [1] :

Hauteur totale de la neige tombée en hiver :

	1902-1903	1903-1904	1904-1905
La Turra. 2490^{m}	4^{m},85	2^{m},83	6^{m},497
Col de Sollières. 2680^{m}	5^{m},62	2^{m},73	10^{m},666

[1]) Deux fascicules sur les observations sur les chutes de neige dans les Savoies ont été publiés par la Commission française des glaciers. (Commission française des glaciers, *Observations sur l'enneigement et les chutes d'avalanches exécutées par l'administration des Forêts dans les départements de la Savoie.* Paris, Club alpin français, 1903 et 1904). Le dernier fascicule se réfère à l'année 1902-1903. Depuis cette publication a été interrompue. Les observations sont toujours poursuivies et il est possible d'obtenir leurs résultats sous forme de cahiers autographiés, en s'adressant à M. P. Mougin, inspecteur des Forêts, chef du Service du Reboisement, à Chambéry.

Equivalence en eau de la hauteur totale de neige tombée.

La Turra	0m,399	»	»
Col de Sollières	»	»	0m,256

En 1905-1906 vingt-neuf stations ont fonctionné, mais, il n'a pas été fait d'observations aux trois postes les plus élevés, soit à la Redoute ruinée, à la Turra et au col de Sollières. Les stations les plus hautes situées dans des vallées sont: Val d'Isère (1849m), Bessans (1742m), Saint-Jean d'Arves (1496m), Saint-Martin de Belleville (1493m), Le Tour (hameau de Chamonix) (1481m).

L'hiver 1905-1906 a été remarquablement neigeux, comme l'indiquent les deux tableaux suivants :

1° Hauteur totale de la neige tombée pendant l'hiver 1905-1906 :

Val d'Isère	6m,92
Bessans	3m,65
Saint-Jean-d'Arves	4m
St-Martin de Belleville	5m,63
Le Tour	9m,

2° Valeur en eau de la neige tombée en hiver dans quelques stations de vallées :

	1900-1901	1901-1902	1902-1903	1903-1904	1904-1905	1905-1906
Val d'Isère	—	637mm,62	369mm,7	588mm,57	487mm,4	667mm,3
Bessans	140mm	378mm,83	74mm,4	101mm,—	162mm,8 [1])	300mm,5
Le Tour	—	—	—	238mm,83	372mm,9	614mm,45
Megève (1125m)	—	443mm,7	275mm,85	464mm,20	260mm,5	524mm,35
Modane (1050m)	100mm,75	117mm,4	123mm,3	168mm,3	86mm,7	183mm,85

Depuis 1901-1902 les précipitations hivernales n'avaient jamais été aussi copieuses dans cette partie des Alpes qu'en 1905-1906.

La Suisse n'a point d'observatoires à de grandes altitudes, c'est-à-dire vers les 3000m. Cette lacune est d'autant plus frappante dans un pays où tout le monde s'intéresse à la montagne.

---

[1]) Depuis le 1er janvier 1905 seulement.

Les deux stations météorologiques les plus élevées son le Säntis (2500^{m}) et l'hospice du Grand-Saint-Bernard (2175^{m}).

Au Säntis, comme dans treize autres stations de premier ordre, on relève simplement le nombre des jours de neige. Au Saint-Bernard les observations météorologiques sont plus complètes et donnent la hauteur annuelle de la neige tombée, mais sans fournir son équivalence en eau.

Au Säntis et au Grand-Saint-Bernard on a relevé les valeurs suivantes :

Säntis.

	Hauteur des précipitations annuelles.	*Nombre des jours de neige.*
1901	2258^{mm}	135
1902	2661^{mm}	157
1903	2472^{mm}	165

Grand-Saint-Bernard.

		Hauteur totale de la neige tombée[1]).
1901 (année civ.)	1657^{mm},1	11^{m},60
1902	1365^{mm},6	9^{m},96
1903	1573^{mm},8	8^{m},66
1904	1212^{mm}	8^{m},55
1905	1717^{mm},8	9^{m},49

Dans les Alpes italiennes trois observatoires existent entre 2000 et 2600^{m} : hospice de Valdobbia, 2548^{m} ; Stelvio, 2543^{m} ; Petit-Saint-Bernard, 2160^{m}. Mais depuis 1900 aucune publication n'a été faite concernant ces observations.

Grâce à l'obligeance de M. l'abbé P. Chanoux, directeur de l'hospice du Petit-Saint-Bernard, nous avons pu combler cette lacune pour ce poste important, et pour les hivers 1902-1903, 1903-1904, 1904-1905 et 1905-1906 :

	Hauteur totale de la neige tombée.	*Equivalent approximatif en eau de cette hauteur de neige*
Oct. 1902 à oct. 1903	9^{m},14	0^{m},76
1er oct. 1903 à 1er oct. 1904	12^{m},17	0^{m},92
1er oct. 1904 à 1er oct. 1905	10^{m},19	0^{m},83
1er oct. 1905 à 1er oct. 1906	11^{m},09	0^{m},89

[1]) Ces chiffres sont empruntés au *Résumé météorologique de l'année* pour Genève et le Grand St-Bernard publié chaque année par le professeur R. Gautier dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles* de Genève.

Les Alpes orientales renferment les deux stations météorologiques les plus élevées de l'Europe ; celle du Sonnblick (3106^{m}) et celle de la Zugspitze (2964^{m}).

Dominant un massif glacé de 2500 hectares, le Sonnblick est l'observatoire météorologique par excellence de la zône des glaciers dans les Alpes.

La moyenne annuelle de quatorze ans d'observations (1887—1900) donne, pour les précipitations atmosphériques au sommet du Sonnblick, 1833^{mm} [1]), dont 1723^{mm} fournis par la neige, dans l'hypothèse qu'une couche de neige fraîche de 10 mètres correspond à 1 mètre d'eau [2]).

Dans ces cinq dernières années les précipitations ont atteint au Sonnblick les valeurs suivantes [3]) :

1901	1902	1903	1904	1905
1570^{mm}	1654^{mm}	1749^{mm}	1690^{mm}	1747^{mm}

Pendant la même période à la Zugspitze (2964^{m}), elles ont fourni les valeurs suivantes [4]) :

1901	1902	1903	1904	1905
1519^{mm}	1257^{mm}	1416^{mm}	1324^{mm}	1125^{mm}

Pour l'étude des précipitations atmosphériques sous forme liquide et solide dans les Alpes orientales il existe, en outre des publications météorologiques, deux recueils particulièrement importants. En vue de connaître le régime des cours d'eau les bureaux hydrographiques autrichien et bavarois possèdent des réseaux très serrés de stations pluviométriques dans les

---

[1]) Dr Julius Hann, *Ergebnisse der meteorologischen Beobachtungen auf dem Sonnblickgipfel, Oktober 1886 bis Dezember 1900*, im *Neunter Jahres-Bericht des Sonnblick-Vereins für das Jahr 1900*, Vienne, 1901, p. 27.

[2]) Fritz Machacek, *Zur Klimatologie der Gletscherregion der Sonnblickgruppe*, in *Achten Jahres-Bericht des Sonnblick-Vereins für das Jahr 1899*, Vienne, 1900.

[3]) D'après les *Jahres Bericht des Sonnblick-Vereins*. Les observations complètes effectuées sur ce sommet sont publiées dans le *Jahrbuch des K. K. Zentral-Anstalt für Meteorologie und Geodynamik*, Vienne.

[4]) D'après les *Jahres-Bericht des Sonnblick-Vereins*.

divers bassins de cette partie des Alpes et publient leurs observations dans leurs annuaires.

Les annuaires du Bureau central hydrographique d'Autriche *(Jahrbuch des K. K. hydrogr. Zentralbureaus,* Vienne) donnent pour chaque bassin : 1° la hauteur par jour des précipitations ; 2° les précipitations mensuelles et annuelles ; 3° la hauteur de neige tombée chaque jour dans les diverses stations, pour les périodes comprises entre le 1er janvier et le 1er juillet et entre le 1er octobre et le 31 décembre ; 4° une carte pluviométrique de l'année.

Signalons, comme source de documentation pour la climatologie des Alpes orientales, la très intéressante étude du professeur J. Hann sur le climat de Saint-Gertrud, le village le plus élevé de la vallée de Sulden (1840m). *(Klima von S. Gertrud im Suldental,* in *Met. Zeit.* Brunswick, 1906, N° 6.)

L'annuaire du Bureau central hydrographique d'Autriche paru en dernier lieu se réfère à l'année 1903.

L'annuaire du service hydrographique de Bavière *(Jahrbuch des K. Bayer. Hydrotechnischen Bureaus, Abteilung der Obersten Baubehörde im K. Staatsministerium des Innern,* Munich) donne également des informations très complètes sur les précipitations dans la partie des Alpes orientales comprise dans ce royaume. Il publie notamment une carte annuelle des précipitations en Bavière. En 1904 il a donné en outre une carte pluviométrique représentant la moyenne des précipitations de 1899 à 1901 pour le bassin du Rhin jusqu'à Bingen et pour celui du Danube jusqu'à Passau ; grâce à ce document il est donc facile de suivre les variations annuelles des précipitations. Dans toutes les stations pluviométriques du service hydrographique bavarois, il est procédé à la mesure de l'épaisseur de la neige. Le bureau météorologique *(K. bayer. meteorologische Zentralstation)* possède d'autre part un réseau spécial de postes pour cette observation ; pendant les périodes de grande neige, il publie une carte hebdomadaire de la puissance de la couverture en Bavière.

La Norvège ne possède pas d'observatoire météorologique dans la haute montagne, mais son réseau de stations pluviométriques, très développé (503 stations en 1905) dans l'intérêt des études hydrologiques, comprend un certain nombre de postes situés à des altitudes relativement élevées. Entre 500^{m} et 1300^{m} il existe 99 de ces stations, dont 15 de 800 à 900^{m}, 10 entre 900 et 1000^{m}, enfin 8 entre 1000 et 1300^{m}.

Toutes les observations se trouvent consignées dans un annuaire élaboré par l'Institut météorologique de Norvège (*Nedböriagttagelser i Norge udgivet af det norske meteorologiske Institut,* Kristiania) qui paraît beaucoup plus rapidement que les recueils similaires, en général cinq mois après la fin de l'année à laquelle il se réfère.

En raison de l'importance économique de la neige en Norvège, des observations nivométriques très complètes sont exécutées chaque jour en 178 stations (1905). Dans ces postes on note l'épaisseur de la couverture de neige, son étendue et sa valeur en eau. Pour les autres stations on donne simplement l'épaisseur de neige moyenne mensuelle et annuelle, l'épaisseur maxima avec sa date, le nombre des jours de neige, le nombre des jours pendant lesquels a persisté la couverture avec indication de son étendue relative à chaque observation. Des tableaux fournissent en outre, pour la période qu'embrassent les observations, la plus grande et la plus faible épaisseur moyenne mensuelle et annuelle, enfin la plus grande épaisseur absolue observée avec sa date.

Le maximum des précipitations se produit dans la zone littorale de la Norvège occidentale comprise entre le Nordfjord et l'extrémité méridionale du Hardangerfjord, c'est-à-dire entre le 59° et le 62° de Lat. N. — Dans cette zone de forte pluviosité les isohyètes (lignes d'égale précipitation) dessinent trois maxima [1]): le premier, à l'est de Florö, entre Nordfjord et Sognefjord (62°—61° de Lat. N.); le

---

[1]) Voir les cartes annuelles de la distribution des pluies jointes aux *Nedböriagttaggelser*.

second sur la large langue de terre limitée au nord par le Sognefjord et au sud par le Hardangerfjord ; le troisième au sud-ouest d'Odde, à l'extrémité méridionale de ce dernier fjord (au sud du 60° de lat. N.).

De 1896 à 1904, dans le premier de ces maxima, les précipitations ont varié de 2600^{mm} (1896, 1897, 1901), à 3400^{mm} (1898, 1903, 1905), dans le second de 2400^{mm} (1901) à 3400^{mm} (1898 et 1903), dans le troisième de 2200^{mm} (1896, 1897, 1903) à 3000^{mm} (1898 et 1903) et 3400 (1905). Ces valeurs sont notablement supérieures à celles admises jusqu'ici. Remarquons que deux des maxima se trouvent sur le bord des grands glaciers de cette région, le Jostedalsbræ et le Folgefonn.

Dans le nord de la Norvège les précipitations sont beaucoup moindres. Le maximum se rencontre sous le cercle polaire et couvre le grand glacier de Svartis ; sa valeur varie de 1200^{mm} (1897, 1900, 1904) à 1600^{mm} (1896, 1898, 1903) et 1800^{mm} (1905).

Au point de vue de la climatologie de la zone des glaciers, la station la plus intéressante est Grjotlien (872^{m}), sur le versant nord du Jostedalsbræ. L'épaisseur moyenne la plus élevée pour toute l'année est de 1^{m},53 ; en mars la couverture peut atteindre 2^{m},56 et en mai 2^{m},49. Seulement en juillet et en août le sol demeure dépouillé de neige.

Pour la Suède le bulletin mensuel de météorologie agricole publié par M. H. E. Hamberg, sous le contrôle du Bureau Central de Météorologie de Stockholm, fournit pour chaque station la valeur mensuelle des précipitations et le nombre des jours de neige. Chaque fascicule est accompagné d'une carte indiquant la répartition mensuelle des précipitations [1]).

Le rapport annuel du directeur du *Weather Bureau* des Etats-Unis fournit pour un certain nombre de stations les

---

[1]) *Månadsöfversikt af väderleken i Sverige till landtbrukets tjänst utgifven under Meteorologiska Central-Anstaltens inseende af* H. E. Hamberg, Stockholm.

hauteurs de neige mensuelles et annuelles [1]). Ce service publie chaque semaine pendant l'hiver un bulletin indiquant (*Snow and Ice Bulletin*) l'épaisseur de la couverture de neige dans un certain nombre de stations réparties sur toute l'étendue des Etats-Unis et l'état des glaces dans les rivières et les ports. Cette publication est accompagnée d'une carte générale du territoire de l'Union montrant la distribution de la neige et son épaisseur au moyen de courbes de niveau.

D'autre part, la division *Weather and Crop* (climat et récolte) du ministère de l'Agriculture publie des bulletins mensuels (*Snowfall bulletins*) indiquant l'état de l'enneigement sur les Montagnes Rocheuses et dans les plaines sous-jacentes. Il existe un bulletin pour chaque état ou « territoire » compris dans cette région naturelle. Ce document, de forme différente pour les divers états, donne tantôt la hauteur de neige tombée dans le mois à diverses stations et l'épaisseur de la couverture à la fin de ce mois, en divers points situés soit à la limite supérieure des forêts soit au-dessus de cette ligne, tantôt simplement des notes générales sur l'enneigement. En tout cas, ces bulletins permettent jusqu'à un certain point de prévoir le régime des eaux pendant la période sèche suivante et à ce titre présentent un caractère essentiellement pratique. Dans l'intérêt de l'agriculture et de l'industrie les services de l'hydraulique agricole en tout pays devraient suivre cet exemple [2]).

Les observations exécutées au Spitsberg par M. J. Westman, pendant l'hivernage à la baie Treurenberg (côte nord) (1899-1900) de la mission suédoise chargée de la mesure d'un arc de méridien dans cet archipel, ont apporté une contribution importante à la connaissance de l'enneigement sur cette terre polaire.

---

[1]) Le service météorologique des Etats-Unis (*Weather Bureau*) dépend du ministère de l'Agriculture. Cette organisation permet de donner à ce service un caractère très pratique.

[2]) U. S. Department of Agriculture. Weather Bureau. *Report of the Chief of the Weather Bureau* 1903-1904. Washington 1905. Voir le chapitre *Monthly and Seasonal Snowfall* p. 348.

Du 1er août 1899 au 1er août 1900, à la baie Treurenberg, les précipitations atmosphériques n'ont pas dépassé la valeur extrêmement modique de 176mm, dont 114 sous forme de neige et 62 sous forme de pluie.

Pendant l'hiver l'épaisseur de la couverture de neige a été très faible dans la plaine riveraine de la baie où était établie la station. Dans cette région, durant l'automne comme la nuit polaire, elle a rarement dépassé 0m,20; plus tard elle s'accrut, et, à la fin de mai, elle atteignit 0m,40 en moyenne. En général, dans la plaine la puissance de la couche augmentait à mesure que l'on s'éloignait de la montagne vers la mer. Ainsi, sur une ligne relativement voisine du fjord elle était dans les derniers jours de mars, de 0m,51, tandis que, près de la station, elle ne dépassait pas 0m,20 [1]).

Durant l'hiver la couverture a subi, d'autre part, de très grandes variations d'étendue; elle a même disparu en partie pendant plusieurs jours. A diverses reprises des surfaces variant d'un à trois dixièmes de l'étendue de la plaine (9 K²) ont été à découvert; fréquemment aussi les montagnes voisines ont présenté des espaces libres. Ces variations d'épaisseur étaient déterminées par des tempêtes de sud, très fréquentes et très violentes. En passant sur les reliefs voisins de la baie Treurenberg les coups de vent balayaient les neiges pour les laisser ensuite retomber soit sur les terres basses, soit sur la banquise, soit dans les nappes d'eau libre que renferme cette carapace de glace. Une partie de la neige tombée dans le voisinage de la station d'hivernage provenait de ces phénomènes de transport éolien.

En même temps que les ouragans déposaient de la neige dans quelques parties des terres basses, dans d'autres

---

[1]) Missions scientifiques pour la mesure d'un arc de méridien au Spitzberg entreprises en 1899-1902 sous les auspices des gouvernements suédois et russe. *Mission suédoise.* T. II. Physique terrestre. Météorologie-Histoire naturelle. VIII section météorologique. B1. *Etats des glaces et de la neige.* Stockholm, 1905.

ils balayaient une portion de la couche antérieurement déposée sur le sol et la rejetaient à la mer. Quelle puissance revêt ce transport, M. Westman en cite un exemple topique. Trois de ces coups de vent survenus le 28 octobre et le 5 novembre 1899, puis le 4 avril 1900 enlevèrent à la couverture de neige déposée dans la plaine une épaisseur de pas moins de $0^m,225$ correspondant à une tranche d'eau de $0^m,067$, soit à plus du tiers des précipitations atmosphériques, qui furent observées à la station du 1er août 1899 au 1er août 1900[1]).

Un transport en sens inverse n'a pas eu lieu ou du moins n'a eu qu'une très faible valeur, par suite de la moindre fréquence des tempêtes de nord et de leur moindre violence, et surtout en raison de cette circonstance que la neige se trouve retenue sur la banquise par les aspérités de la glace.

Comme nous l'indiquerons au chapitre IV, ce transport éolien des neiges qui couvrent les montagnes de l'intérieur vers l'océan exerce une influence considérable sur le régime glaciaire.

Instruments d'observation. La mesure de la hauteur des chutes de neige est un des problèmes les plus délicats de la météorologie et jusqu'ici il est demeuré sans solution satisfaisante, faute de pouvoir éliminer deux facteurs perturbateurs : le vent et l'évaporation. Les divers instruments et moyens employés, le pluviomètre, les tubes, la planche, la perche et l'aire plane disposée sur le sol, demeurent tous soumis aux influences du vent et de l'évaporation ou de l'un de ces deux facteurs, et par suite ne peuvent fournir que des résultats entachés d'erreurs. A cet égard, très instructives sont les expériences de M. P. Mougin sur la valeur comparée de ces divers instruments [2]).

Avec le pluviomètre, (l'instrument généralement employé pour obtenir la valeur en eau d'une chute de neige)

---

[1]) Ibid. p. 44.

[2]) *Observations sur la neige et la nivométrie en Savoie*, in *Revue des Eaux et Forêts*. IVe Série, T, III, 1, 1er janvier 1905. p. 1.

« le résultat, écrit M. Mougin, peut être faussé en moins, si le vent est fort et enlève une partie de la neige déposée ; en plus si le vent est faible ou nul, car sur le pourtour du pluviomètre la neige s'agglutine et forme des bourrelets faisant saillie en dehors du cercle ». D'autre part, si immédiatement après la chute on ne procède pas à la mesure de la quantité d'eau produite par la fusion, l'évaporation engendrée par les rayons solaires laquelle peut être très intense, altère le résultat. Cette dernière cause d'erreur s'observe également sur les tubes cylindriques à large ouverture tels que ceux du type Vallot. M. Mougin estime qu'il est possible d'atténuer les causes d'erreur du pluviomètre et des tubes Vallot en enfermant ces appareils dans des caisses contenant une matière mauvaise conductrice de la chaleur.

Sur la planche, par les temps calmes, la neige forme des bourrelets, tandis que par les coups de vent l'épaisseur du dépôt peut se trouver singulièrement réduite. En général, cet instrument donne une valeur supérieure à celle fournie par le pluviomètre. Quoi qu'il en soit, en raison même de sa simplicité cet appareil a été choisi pour les postes d'observation de la Savoie confiés aux agents subalternes des Forêts ; toutes les précautions ont, d'ailleurs, été prises pour atténuer ses inconvénients.

La mesure de la neige recueillie sur une aire plane ménagée sur le sol donne également des résultats inexacts en raison de l'action du vent.

L'emploi de la perche graduée enfoncée dans le sol pour la mesure de la hauteur d'une chute nécessite deux lectures et exige de grandes précautions dans la prise de la tranche de neige tombée pour calculer sa valeur en eau. Les Norvégiens, gens très minutieux et très pratiques, emploient ce procédé pour la mesure de la couverture de neige à certaines dates, et, pour le calcul de son équivalence en eau ils découpent un cylindre dans l'épaisseur de la nappe de neige au moyen de l'appareil du professeur Hellmann, de Berlin.

Depuis plusieurs années M. Mougin poursuit des expériences sur les appareils nivométriques habituels et sur

un nivomètre dont il est l'inventeur. Ses rapports, [1]) particulièrement intéressants, montrent la difficulté d'une solution satisfaisante.

Pour répondre au vœu exprimé par le Comité d'Etudes scientifiques institué près de la direction de l'Hydraulique et des Aménagements agricoles au ministère de l'Agriculture de France, M. Angot, directeur du Bureau central météorologique, a fait construire des nivomètres d'un modèle nouveau qui seront mis en expérience dans les Alpes.

Pour l'observation, non plus des chutes de neige, mais de l'enneigement aux grandes altitudes, le nivomètre du professeur Mercanton se recommande par sa très grande simplicité. C'est une simple échelle tracée au minium sur une paroi rocheuse à peu près verticale, laquelle est divisée par des traits équidistants de $0^m,50$ et portant des numéros d'ordre. Le numérotage doit être établi de telle sorte qu'il puisse être continué, si le niveau du glacier vient à baisser. Ainsi, lors de l'établissement d'une de ces échelles, le professeur Mercanton avait inscrit le n° 10 au niveau du glacier et le n° 35 au sommet du nivomètre. On ne saurait trop insister sur l'utilité qu'il y a à multiplier dans la haute montagne l'installation de pareils nivomètres.

Distribution des précipitations neigeuses en fonction de l'altitude. Des observations faites par M. A. Hamberg dans la Laponie indiquent l'existence d'un maximum de précipitation vers le tiers de l'altitude d'une montagne.

Des expériences poursuivies par M. P. Mougin pendant trois ans confirment ce résultat.

Six tubes Vallot échelonnés sur les pentes de l'aiguille du Gouter, depuis le village des Houches (1010^m) jusqu'à l'observatoire de l'administration des Forêts, au glacier de Tête-Rousse (3185^m), ont donné les résultats suivants :

---

[1]) On peut obtenir des copies autographiées de ces rapports en s'adressant à l'auteur, inspecteur des Forêts, à Chambéry, Savoie.

	Altitudes.	Hauteur de la lame d'eau recueillie : Du 1er oct. 1902 au 30 sept. 1903	Du 10 oct. 1903 au 24 sept. 1904	Du 24 sept. 1904 au 30 oct. 1905
Les Houches	1010m	481mm,9	463mm,2	899mm,8
Baraque inférieure de la Gria	1540m	492mm.5	— [1])	1018mm,8
Baraque en bois	2100m	319mm,4	— [2])	1308mm,8
Plateau des Rognes	2550m	1848mm,5	1755mm,7	2041mm,5
Baraque de Pierre Ronde	2850m	446mm.1	551mm,	.782mm,4
Observatoire de Tête-Rousse	3185m	368mm,2	377mm,4	492mm,9

« Un fait, ajoute M. Mougin, semble corroborer ces premières données. Très souvent la crête des Rognes et Tête-Rousse se trouvent au-dessus des nuages et par suite en dehors de la zone des précipitations et il n'y a rien d'étonnant que le plateau des Rognes qui dans ces cas est toujours couvert par les nuages reçoive une lame d'eau supérieure à celle qui tombe sur le plateau de Pierre-Ronde » [3]).

Influence exercée sur l'épaisseur de la couverture de neige par la nature de la végétation. Des expériences poursuivies en Russie montrent l'influence exercée sur l'épaisseur de la couverture de neige par la nature du boisement et par les formes du terrain.[4]) Elles donnent d'utiles directions pour des observations similaires en montagnes.

Dans les plaines boisées l'épaisseur de la neige est en relation avec la nature et l'âge du peuplement. Ainsi elle est moindre dans les forêts de conifères que dans celles d'arbres feuillus, dans les quartiers composés d'exemplaires jeunes que dans ceux constitués d'exemplaires âgés. Le minimum est atteint dans les peuplements de jeunes conifères, le maximum dans les clairières.

---

[1]) Appareil détruit par des chutes de pierre.

[2]) Id.

[3]) *Mensurations pluviométriques et nivométriques. 1904. Rapport de M. Mougin.* p. 8 (autographie).

[4]) Woeikof, *Referate über russische Forschungen auf dem Gebiete der Meteorologie,* in *Meteorologische Zeitschrift*, Vienne 1903, octobre n° 10, p. 451.

Dans les steppes les touffes de *Stipa capillata* et de *S. pennata* ou arbustes tels que *Cerasus chamœcerasus* ont la propriété d'absorber la neige et par suite de retarder sa fusion au printemps.

Sur une plaine constituée par des bois, des champs et traversée par une rivière l'épaisseur de la neige a varié du simple au double et même davantage. On a trouvé ainsi $0^m,24$ sur la rivière et $0^m,53$ à l'ouest d'une forêt. Le profil d'une coupe à travers une plaine terminée de chaque côté par des massifs d'arbustes ressemble à une corde faiblement tendue.

Morphologie de la couche de neige. Les névés très inclinés sont fréquemment sillonnés de cannelures tracées en conformité de la plus grande pente.

Ce facies peut se rencontrer à la surface de vieilles neiges d'hiver dans la zone des neiges temporaires, comme le professeur Crammer l'a observé, le 10 février 1905, sur les pentes des montagnes bordant le chemin de fer de Wörgl au col de Lueg (Tyrol)[1].

En ce cas les cannelures affectaient une forme très aplatie : profondes au maximum de 0^m15, tantôt elles étaient très rapprochées et devenaient tangentes, tantôt, au contraire, elles étaient séparées par un bourrelet de neige dans l'épaisseur duquel apparaissait bientôt en aval une nouvelle gouttière. Indépendantes de l'exposition, ces rigoles paraissaient intimement liées au degré de pente du terrain. Rectilignes et serrées sur les escarpements, elles devenaient divergentes et serpentines lorsque la déclivité diminuait pour épouser toujours le sens de la plus grande pente, et finalement disparaissaient dans les zones planes, où elles étaient remplacées par une multitude de petites cavités. Le professeur Crammer compare le dessin formé par ces rigoles à la surface de la neige à celui des hachures exprimant le relief sur une carte à grande échelle.

---

[1]) Hans Crammer, *Die Furchung der Winterschneedecke in den Gebirgstälern*, in *Petermanns Mitt.*, 51. Band, 1905, X. p. 237.

Ce singulier facies aurait été déterminé par l'action de la pluie sur la couverture de neige.

Cinq jours avant le passage de M. Crammer, le 5 février, sur la vieille neige verglassée était tombée de la neige fraîche suivie de pluie.

Traversant la couche molle de neige fraîche, cette pluie s'écoula suivant la pente, en creusant des rigoles à la surface de la vieille neige. Imprégnée d'eau par en-dessous et sans cohésion, la neige fraîche superficielle fondait et s'éboulait dans les sillons, tandis que sur les gibbosités séparant ces rigoles elle demeurait plus longtemps et contribuait ainsi à augmenter leur relief.

Par suite, sur les fortes déclivités l'eau suivant la plus grande pente, à moins d'avoir été arrêtée par un obstacle, a tracé généralement des sillons rectilignes. Dans les zones moins inclinées, des accidents existant à la surface de la vieille neige ont rejeté les ruisselets à droite et à gauche jusqu'à ce qu'ils aient trouvé un écoulement en conformité de la pente. C'est ainsi qu'à mesure que la déclivité du sol diminuait, les sillons devenaient de plus en plus sinueux et finalement aboutissaient dans les terrains complètement plats à des trous qui étaient les points d'absorption de ces ruisselets dans l'épaisseur de la neige.

Un des traits les plus caractéristiques des régions glacées des zones tropicales et subtropicales est la présence de pyramides de névé cimenté par la gelée *(Firneis)* auxquelles leur ressemblance avec des pénitents blancs a valu le nom de *nieve penitente*. Ces pyramides se dressent au-dessus de nappes de même nature dans l'épaisseur desquelles elles ont été découpées, et, souvent assez longtemps après la disparition de ces nappes, persistent en longues files sur le sol nu. Leur hauteur varie de $0^m,50$ à $1^m,50$.

Cette formation n'est point particulière, comme on l'a longtemps cru, à la région des Andes chiliennes voisines du 32° de lat. S. — Le professeur Hans Meyer l'a rencontrée dans les Andes de l'Équateur[1]) (fig. I) et le professeur

[1]) Hans Meyer, *Die gegenwärtigen Schnee- und Eisverhältnisse*

Uhlig sur le versant sud-ouest du Kibo, le point culminant du Kilimandjaro, à l'altitude de 5600m [1]). Cette dernière observation emprunte une importance spéciale à ce fait que le professeur Hauthal, du Musée de la Plata, a formellement reconnu sur une photographie de M. Uhlig l'identité complète entre les *nieve penitente* des Andes et ceux du Kilimandjaro. Enfin, dans leur nouvelle campagne de 1906 dans l'Himalaya cachemirien, le Dr Hunter Workman et Mme Bullock Workman ont observé des *nieve penitente*, hauts de 0m,60 à 1m, aux altitudes de 5000m et de 6271m, sur les pentes culminantes du massif du Nun-Kun (fig. II). Dans le Baltistan ils n'avaient jamais, au contraire, observé cette curieuse formation [2]).

Signalons, enfin à ce propos, l'existence sur le glacier de Baltoro (Baltistan) de « pénitents », non plus de neige, mais de glace, ce sont des pyramides de glace pure, hautes de plus de 20m, formant des allées de plusieurs kilomètres de long, reposant sur des parties de glacier entièrement recouvertes de matériaux morainiques. D'après M. Jacot Guillarmod, à qui l'on doit cette observation, ces pinacles de glace seraient les restes d'avalanches de glace tombées des glaciers dominant le cours du Baltoro [3]).

Les *nieve penitente* du Kilimandjaro présentent une stratification parallèle à la pente du terrain sous-jacent (20°), et se composent de couches de cohésion et d'épaisseur variables. Ils mesurent une hauteur de 0m,60 et sont rangés en files parallèles suivant deux systèmes se coupant à angle droit et établis l'un en conformité de la ligne de plus grande

---

in den Anden von Equador, in *Globus* LXXXV, n° 10, 10 mars 1904, p. 149. *In den Hoch-Anden von Ecuador*. Un vol. in 8°. Berlin, Dietrich Reimer, 1907, p. 43.

[1]) G. Uhlig, *Von Kilimandscharo zum Meru*, in *Zeit. d. Ges. für Erdkunde zu Berlin*, 1904, n° 9 et 10.

[2]) Fanny Bullock Workman, *Exploration du Nun-Kun*, in *La Géagraphie*, XV, 2, 15 fév. 1907, p. 97.

[3]) Dr J. Jacot Guillarmod, *Six mois dans l'Himalaya*. Sandoz, Neuchâtel [s. d.], p. 339.

pente, l'autre, semble-t-il, suivant la ligne d'égale hauteur. Les parois de chaque *nieve penitente* sont généralement verticales, avec, souvent, une inclinaison très accentuée dans le sens de la pente du sol. Au Kilimandjaro les nappes hérissées de ces pyramides ne paraissaient pas provenir d'avalanches, tandis que dans les Andes ces pyramides se rencontrent parfois dans des neiges dérivant d'éboulements.

L'accord est toujours loin d'exister au sujet des agents qui concourent à cette curieuse forme d'érosion des champs de névé dans les régions tropicales et subtropicales.

D'après le professeur Hans Meyer [1]) il y aurait lieu de distinguer deux espèces de *nieve penitente*, d'après leurs conditions génétiques.

Les « pénitents » de la première catégorie, situés dans les localités abritées et orientés en files suivant la direction est-ouest, seraient le produit de l'insolation. Dans les névés de nos régions, pendant les saisons sèches, la fusion ne crée-t-elle pas des monticules orientés en conformité de leur exposition aux rayons solaires. Pour M. Hans Meyer les fameux *nieve penitente* de l'Aconcagua seraient une forme exagérée de ce facies d'érosion due aux conditions astronomiques de cette région andine, et à l'intensité prolongée du rayonnement et de l'évaporation.

Les « pénitents » de la seconde catégorie, semblables à ceux de la première au point de vue morphologique, seraient produits par des actions éoliennes. C'est, en effet, sur les portions des sommets du Chimborazo et de l'Antisana exposées à de longues et violentes tempêtes, comme sur les parties culminantes du Kilimandjaro les plus découvertes, et, toujours à des altitudes supérieures à 5500 mètres, que M. Hans Meyer a rencontré ces curieuses pyramides.

Pour la genèse des « pénitents » de cette espèce ce voyageur a recueilli une observation particulièrement importante. Traversant au milieu de juin, c'est-à-dire au début de la saison sèche, les névés des pentes supérieures

---

[1]) *Loc. cit.*

du Chimborazo, M. Hans Meyer y vit simplement des traces de fusion; six semaines plus tard, après une longue série de tempêtes d'est, ces mêmes champs de neige étaient devenus un hérissement inextricable de *nieve penitente*. Voici comment ce sagace observateur explique dans ce cas la formation de ces accidents :

Au contact des neiges du Chimborazo l'humidité dont les vents d'est sont chargés se condense; la chaleur latente de vaporisation mise en liberté détermine alors la fusion du névé, et, l'eau, ainsi produite, chassée vers l'ouest par la violence de la brise, creuse des sillons de plus en plus profonds, à la surface du névé; finalement il arrive que des pyramides naissent dans l'épaissseur du champ de neige avec le concours de l'eau qui suinte sur les autres faces. L'action solaire intervient ensuite et achève l'œuvre commencée par le vent.

M. Uhlig attribue également au vent une influence importante dans la formation des *nieve penitente*. Alors que les neiges sont encore mobiles, la brise dominante modèle à leur surface des sillons qui fournissent les directions suivant lesquelles les pyramides se développeront ultérieurement. D'après M. Uhlig, l'insolation, l'érosion par les eaux de fusion, enfin l'évaporation concourent à achever l'édification des « pénitents ».

Mme Bullock Workman estime également que le vent est le principal facteur génétique de ces pyramides : elle les a d'ailleurs observées sur des sommets très découverts de plus de 6000^m^.

Dans nos régions des circonstances accidentelles peuvent engendrer des formes d'érosion offrant une singulière ressemblance avec les *nieve penitente*. En Poméranie, aux environs de Greifswald, M. W. Deecke en a observé, lors de la fusion de « congères » [1]) amoncelées par la terrrible tourmente du 31 décembre 1904 qui ravagea le bassin occi-

---

[1]) Amas de neige créé par le vent dans une localité abritée.

dental de la Baltique[1]). C'étaient des pyramides, hautes de $0^m,50$, présentant des traces de stratification et ça et là une structure rubannée, reposant directement sur le sol et alignées en avant d'amas de neige dont elles dérivaient.

A la suite de la tempête du 31 décembre 1904 un froid très vif avait gelé la surface des dépôts neigeux. Plus tard, lors du dégel des nappes qui étaient recouvertes d'une couche de verglas particulièrement épaisse résistèrent à la fusion et protégèrent contre la dégradation une section de la couverture de neige correspondant à leurs dimensions. En un mot, d'après M. W. Deecke, le rôle de ces croûtes de glace aurait été semblable à celui des blocs dans la formation des pyramides de terre.

Suivant ce géologue, deux agents concourent à la formation des *nieve penitente,* le vent et le soleil. Le vent accumule la neige suivant une direction déterminée; mais il arrive un moment où sa puissance de transport se trouve arrêtée par les conditions topographiques du site où il a formé un dépôt, son action se borne alors à tracer à la surface de cet amas des crêtes et des sillons. A la suite des gelées et des chutes de neige qui surviennent pendant l'hiver, la neige se transforme en une masse granuleuse, compacte, stratifiée, et, lorsque la fusion se produit, les parties de la « congère » les plus solidement cimentées résistent et forment des saillies. Ces saillies se trouvent-elles dans des conditions favorables d'exposition solaire, elles deviennent de plus en plus accusées, en même temps que les dépressions qui les séparent acquièrent une profondeur de plus en plus grande, si bien que des pyramides naissent progressivement au milieu du champ originairement plat.

Pour M. W. Deecke, la structure de la « congère » et le degré de gel qu'elle a subi sont des facteurs d'une importance capitale pour la formation des *nieve penitente.*

Suivant le professeur Günther, la genèse des « péni-

---

[1]) W. Deecke, *Lässt sich der « Büsserschnee » als vereiste Schneewehen auffassen ?* in *Globus*, LXXXVII, 15, 20 avril 1905, p. 261.

tents de neige » devrait être attribuée aux mêmes agents que ceux qui engendrent les « colonnes coiffées » [1]. La pluie, et, dans une moindre mesure, le vent et les érosions découperaient la masse neigeuse en crêtes que le ruissellement et les rayons solaires aiguiseraient ensuite en obélisques.

Sur ce problème de morphologie glaciaire signalons enfin l'explication de M. Curt Facilides [2]. Les monticules qui se trouvent à la surface du névé protègeraient contre la fusion les parties situées immédiatement derrière eux, pendant les heures où le soleil est le plus chaud, de midi à 3 heures, tandis qu'autour d'eux le névé subirait une très forte ablation. Telle serait, d'après M. C. Facilides, l'origine de ces monticules. D'autre part, il est nécessaire que le soleil se trouve à une certaine hauteur pour que la fusion puisse s'exercer et en même temps pas trop haut pour qu'il puisse y avoir ombre projetée suffisante. Ces conditions expliqueraient la limitation du phénomène à certaines zones.

Rappelons pour terminer ce chapitre que le très important mémoire du professeur R. Hauthal, du musée de la Plata, paru dans la *Revista del Museo de la Plata* (T. X. La Plata 1902), et que nous signalions dans la *Revue de Glaciologie* de 1902, a été traduit sous le titre de *Büsserschnee* (niève penitente) dans la *Zeitschrift des D. u. Ö. Alpenvereins* 1903, vol. XXXIV, p. 114.

A 100^{m} en dessous du sommet du Cotopaxi, soit à l'altitude de 5800^{m}, M. Hans Meyer a trouvé la surface du champ de névé, saillies comme dépressions, recouverte de franges imbriquées, constituées d'un agrégat serré de petits cristaux de glace, dont la taille variait de la longueur d'une

---

[1]) *Erdpyramiden und Büsserschnee als gleichartige Erosions-Gebilde,* in *Sitzungsber. d. Königl. bayer. Akad. d. Wissensch.* — Mathem.-phys. Kl. — 34, 3, 1904, p. 397.

[2]) *Beitrag zur Lösung der Frage, wie die als « Büsserschnee »* (niève penitente) *bezeichneten Schneebildungen entstehen,* in *Mitt. d. Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins,* 1904, N° 21, 15 nov. p. 260.

main à celle du bras. D'après ce savant voyageur, ce serait une formation de givre en relation avec les émanations du cratère qui occupe le sommet de cette montagne [1]). (Fig. III.)

La disparition dans les montagnes de la couche de neige hivernale s'opère suivant deux processus, l'un lent et d'ordre physique, l'autre brusque et mécanique : la fusion et les avalanches.

Ablation des neiges hivernales. Des observations effectuées en Suède par M. J. Westman [2]), montrent que la fusion paraît être beaucoup plus rapide sur les glaciers de la Laponie pendant l'été que dans les plaines de la Suède centrale au printemps. Tandis que dans des localités découvertes ou faiblement boisées de cette dernière région, en 1902, du 17 avril au 7 mai, sa moyenne n'a pas dépassé $0^m,033$ par vingt quatre heures, elle a atteint, en 1897, au milieu de juillet, $0^m,06$ et $0^m,072$ sur un glacier du Sulitelma, aux altitudes respectives de 950^m et de 1175^m et à la même époque, en 1898, dans les mêmes localités, $0^m,05$ et $0^m,041$.

A la station scientifique du Vassijauri (Laponie suédoise), située par 68°23′ de Lat. N. une plus grande vitesse de fusion a été observée : $0^m,19$ en vingt-quatre heures, le 20 juillet 1905, vers 500^m. C'est le maximum absolu constaté par M. J. Westman. Les ablations les plus rapides en vingt-quatre heures qu'il ait observées ensuite sont $0^m,083$ et $0^m,134$ sur les bords de la baie Treurenberg (côte nord du Spitsberg par 79°55′). Elles ont été notées le même jour, le 3 août en 1899 et 1900 [3])

D'après des expériences poursuivies par M. J. West-

---

[1]) Hans Meyer, *Globus*. LXXXV, n° 10, p. 153.

[2]) J. Westman, *Einige Messungen über die Ablationsgeschwindigkeit der Schneedecke in Stockholm und bei Kärrgrufran im Frühling 1902,* in *Kongl. Vetenskaps-Akademiens Förhandlingar,* 1902, N° 9, Stockholm.

[3]) J. Westman, *Sur la couverture de neige de la Suède centrale et septentrionale*, in *Arkiv för Matematik, Astonomi och Fysik, utgifvet af K. Svenska Vetenskaps Akademien i Stockholm*, B. 3, n° 3. Stockholm, 1906 (p. 15 du tirage à part).

man dans les Alpes de la Laponie suédoise, à des altitudes comprises entre 480^{m} et 880^{m}, la valeur moyenne de la diminution d'épaisseur de la couche de neige irait en décroissant de 1,12+0,06 centimètre par 24 heures et par 100^{m} d'élévation [1]). Naturellement l'exposition exerce une influence sur le phénomène, laquelle peut atteindre 7 pour cent de la valeur moyenne de la diminution.

Plus tardive est la fusion, plus devient grande dans les plaines la vitesse maxima d'ablation.

D'autre part, à mesure que l'épaisseur de la couche de neige diminue, la fusion devient plus rapide en raison de la présence, à la surface, d'un nombre sans cesse croissant de particules organiques précédemment incluses dans la masse neigeuse, lesquelles absorbent la chaleur.

Enfin la fusion de la neige est susceptible d'exercer d'importantes actions géologiques en montagne [2]). Si l'eau qu'elle fournit sature, sur une épaisseur considérable, le sol sous-jacent, et si ce sol manque de cohésion, il peut en résulter des glissements considérables de terrain. Ainsi, à la suite d'une fusion rapide des neiges survenue après un hiver très humide, le 6 avril 1897, une surface de 80 hectares, au sud du village de Montdenis en Maurienne (Savoie), se mit à fluer et une masse évaluée à 2720000^{m3} glissa dans le lit du torrent de Saint-Julien qu'elle exhaussa de 30^{m}. Dans d'autres localités le glissement se produit lentement. Ainsi dans la zone supérieure de la commune de Saint Martin-la-Porte (Savoie), entre le col des Encombres, 1,550 hectares glissent progressivement vers la vallée de l'Arc à la suite de la saturation du sol produite chaque printemps par la fusion des neiges hivernales. Sur un point situé à l'altitude de 1210^{m} la vitesse de translation est d'environ 0^{m},50 par an [3]).

---

[1]) *Ibid.* p. 17.

[2]) Paul Mougin, *Observations sur la neige et la nivométrie en Savoie,* in *Revue des Eaux et Forêts* IV. Série T. III, 1, 1er janvier 1905, p. 1.

[3]) *Ibid.* p. 3.

Avalanches. Les avalanches de névé dans les régions culminantes sont rares et se produisent principalement entre 2500m et 3500m. Sur les matériaux qui les composent et sur leur mode de production, M. F. W. Sprecher a publié une note intéressante [1]).

Le principal ouvrage qui ait été consacré aux avalanches pendant la période 1901-1903 concerne les Pyrénées. Il a pour auteur M. A. Campagne, inspecteur des Forêts et pour objet la vallée de Barèges [2]). Ce livre est une étude très complète des agents de dénudation qui ravagent ce coin des Pyrénées : les torrents et les avalanches.

Aux dénominations habituelles d'avalanches de poussière ou poudreuses *(Staublawine)* et d'avalanches de fond *(Grundlawine)*, M. Campagne substitue, comme l'avait déjà fait, du reste, M. Demontzey, celles, beaucoup plus caractéristiques en français, d'avalanches volantes et d'avalanches terrières.

A ces deux classes typiques de glissements des neiges l'auteur en ajoute une troisième, les avalanches mixtes, qui sont la conséquence du climat méridional de Barèges.

Au nord de cette station thermale, sur les pentes de la montagne du Capet située en plein midi, la température peut monter, en pleine saison froide, à + 32° au soleil ; aussi bien, rapporte M. Campagne, « on remarque presque tous les hivers, dans la partie basse du versant cette alternance de couches de neige meuble et de couche de neige glacée qui favorise la formation des avalanches terrières. Dans de telles conditions une avalanche volante descendue des hauts sommets doit provoquer elle-même en traversant la région basse de la montagne la formation d'une véritable avalanche terrière qui s'ajoute et se mélange à la poussière ».

---

[1]) *Lawinen an der Jungfrau*, in *Jahrb. d. Schweizer Alpenclub.* XXXIX, 1903 bis 1904. Berne, 1904, p. 364.

[2]) *La vallée de Barèges et le reboisement.* Les torrents. — Le désastre de 1897. — Les avalanches. Un vol. in 8° de 93 p. accompagné de 32 phototypies. Pau, imprimerie Garet. (En dépôt à Paris chez Laveur, éditeur).

Dans les régions méridionales des Alpes soumises à un régime climatique analogue à celui des Pyrénées, des avalanches ayant ce caractère mixte doivent fréquemment se produire.

Le vent est une des principales causes déterminantes des avalanches volantes et mixtes. A Barèges, ces glissements de neige sont beaucoup plus fréquents pendant les hivers venteux que pendant les hivers calmes.

La nature du sol influe sur la fréquence des avalanches terrières. Les roches calcaires et schisteuses sont les plus dangereuses, ensuite viennent les calcaires compacts, les roches granitiques, les terrains dépourvus de couverture herbacée, enfin au dernier rang les terrains gazonnés. La pente du terrain n'exercerait pas une influence aussi grande qu'on le prétend. Avec juste raison, M. Campagne met en garde contre l'introduction des mathématiques dans l'étude du phénomène, c'est-à-dire de l'emploi de coefficients de frottement de la neige sur elle-même ou sur les corps étrangers, pour calculer ensuite, au moyen de formules, les angles de pente à partir desquels le glissement doit se produire.

A Barèges, les avalanches sont fournies par la montagne du Capet. Cette crête, qui s'élève en gradins escarpés au-dessus du plateau dominant ce village, est découpée par quatre ravins qui constituent autant de vomitoires menaçants.

L'un d'eux, celui du Theil, a de 1800 à 1860 livré passage à pas moins de sept avalanches meurtrières : en 1802, 1811, 1822, 1842, 1855, 1856, 1860. En 1879, 1882 et 1889 se produisirent également de gros glissements de neige, mais qui n'entraînèrent ni mort d'hommes, ni dégâts importants. Un chiffre donnera l'idée de la grandeur de ce phénomène à Barèges. En 1842, une avalanche de poussière déversa 45,000$^{m^3}$ de neige seulement dans le bourg.

Un autre ravin du Capet, le Midaou, lance de redoutables avalanches sur le Bas-Barèges, et, pour se protéger contre leurs attaques, les habitants de ce « quartier » ont été amenés à construire en avant de leurs maisons des « forts », des murailles épaisses de plus de 5 mètres.

D'autres couloirs qui débouchent à 1000 et 1300^{m} en amont de Barèges, le Rioumaou et le Lac de Ga vomissent également parfois d'énormes avalanches. Tel fut le cas en 1886 et en 1889 où la vallée du Bastan fut recouverte, sur une longueur de 800^{m} et une largeur de 60 à 80^{m}, d'une couche épaisse de 20^{m} (en 1886) et de 10 à 15^{m} (en 1889). En 1886, l'avalanche tomba en janvier et seulement en août la circulation des voitures put être rétablie sur la route. En 1889 le glissement eut lieu le 6 février ; le 20 octobre de gros blocs de glace subsistaient encore sur les bords du torrent.

Les avalanches d'un volume extraordinaire ne surviennent naturellement que s'il y a abondance de neige sur les montagnes. Leurs dates fournissent par suite des indications sur celles des enneigements. On remarquera précisément que les avalanches qui ont ravagé Barèges (1760, 1811, 1822, 1855, 1856, 1860, 1879, 1880) se sont produites à des époques où les glaciers des Alpes étaient en crue, et probablement également ceux des Pyrénées.

Ces accidents, de même que les crues désastreuses du Bastan, sont la conséquence de la dénudation des montagnes produites par l'extension abusive du pâturage aux dépens de la forêt. Un mémoire de l'ingénieur Lomet chargé, en 1794, de choisir à Barèges l'emplacement d'un hôpital militaire, apporte un précieux témoignage des progrès de la déforestation dans les Pyrénées et des conséquences calamiteuses qu'elle a entraînées.

« Autrefois, toutes les montagnes qui dominent Barèges étaient revêtues de bois de chêne. Des hommes actuellement vivants en ont vu les restes et les ont achevés. Les habitants des plateaux ont tout ravagé eux-mêmes, parce que ces pentes étant les premières découvertes par leur exposition et par la chute des avalanches, ils y ont de bonne heure un pâturage pour les moutons et que le jour où ils les y conduisent, ils oublient que pendant tout l'hiver ils ont frémi dans leurs habitations de la peur d'être emportés

avec elles par ces neiges dont ils provoquent obstinément la chute [1]).

Depuis 1860, des travaux de défense et de reboisement ont été exécutés sur la montagne du Capet.

Pour les deux départements de la Savoie, le service du Reboisement de la 5e conservation dirigé par M. P. Mougin dresse chaque année un état des avalanches et de leurs dégats. De décembre 1903 au 1er juin 1904, 458 de ces glissements ont été observés dans les quatre arrondissements de Chambéry, Albertville, Moutiers et Saint Jean de Maurienne. Ils ont entraîné la mort de deux personnes et ravagé plus de 94 hectares de forêts. Ils ont été particulièrement fréquents en avril (110).

De décembre 1904 à juin 1905, dans ces mêmes arrondissements, 517 avalanches ont été signalées, dont 307 en avril. Sur ce nombre 445 sont qualifiées de périodiques, c'est-à-dire ont suivi des « chemins » habituels. Leurs ravages ont été faibles : 27,7 hectares seulement de forêts endommagés.

Pendant l'hiver très neigeux de 1905—1906, le nombre des avalanches a été naturellement beaucoup plus élevé que les années précédentes. De novembre 1905 à juin 1906 pas moins de 672 ont été observées. Le maximum de fréquence s'est produit en mars (200) ; un second maximum (164) a été constaté en février. Sur ces 672 avalanches, 591 appartenaient à la classe des avalanches périodiques. On n'a eu à déplorer ni mort d'homme, ni perte de bétail. Les dégats matériels se réduisent à la dévastation d'une surface boisée de 37 hectares et à des coupures de routes (52).

Les avalanches terrières exercent des actions d'érosion et de transport qui ne sauraient être négligées. — L'importance des premières dépend de la nature du terrain sur lequel glisse la neige. Le fond du couloir est-il recouvert de gazon ou constitué de roc solide, les avalanches n'en-

---

[1]) *Mémoire sur les eaux minérales et les établissements thermaux des Pyrénées.*

traînent rien ou presque rien. Ainsi, dans la zone des schistes anciens de la basse Maurienne, elles détachent à peine quelques mètres cubes et quelques blocs de faible dimension (0,5^{m3} à 0,7^{m3}). Au contraire, glissant sur un sol constitué de schistes tendres, ces éboulements érodent profondément leurs « chemins » et charrient parfois une masse de débris qui, d'après M. P. Mougin, peut s'élever à 150 ou 200^{m3}.

Il arrive en outre que les avalanches entraînent des blocs erratiques des hauteurs dans les régions basses. Nombre de blocs considérés comme jalonnant l'extension des anciens glaciers dans les vallées ont été tout simplement apportés dans leurs gisements actuels par des éboulements de neige. Dans la vallée de Champagny, par exemple, M. Paul Girardin a vu sur les restes d'une avalanche trois quartiers de roche jaugeant de 10 à 30^{m3} qui étaient descendus avec la neige au printemps précédent [1]).

Les avalanches, comme le fait remarquer notre collègue, sont un des agents les plus actifs du modelé des formes du terrain dans les hautes vallées. Au bas des couloirs qui leur servent de lit ces éboulements de neige engendrent des cônes de déjection qui, alternant des deux côtés de la vallée, renvoient d'un bord à l'autre le torrent et lui donne ce tracé sinueux caractéristique des cours d'eau des hautes vallées encaissées.

Parmi les actions géologiques les plus caractéristiques des avalanches signalons enfin le fréquent barrage des torrents situés au pied de leurs couloirs, lequel a pour effet de déterminer la formation d'un lac temporaire. Lorsque l'écoulement est rétabli par l'ouverture d'une brèche, il se produit un flot d'eau qui exerce sur les rives des actions de transport.

Dans les Savoies, pendant l'hiver 1903-1904, 43 cours d'eau ont été ainsi barrés, l'année suivante, 19, et en 1905-1906, 15.

---

[1]) *Phénomènes actuels et modifications du modelé en haute Maurienne,* in *La Géographie* XII, 1, 15 juillet 1905, p. 1. Paris.

Ces barrages sont susceptibles d'amener de véritables débacles comme cela semble s'être produit dans le Val de Menday. Dans la partie la plus haute de cette vallée des éboulements de rochers et des cônes d'avalanches formèrent pendant l'hiver 1905-1906 (?) un lac de barrage. Tout à coup dans la nuit du 11 au 12 juin 1906, vers 4 heures du matin, la digue se rompit et un flot d'eau se précipita vers l'aval, enlevant tous les ponts [1]).

Limite des neiges. Il y a, comme on sait, trois limites des neiges :

1° La limite topographique qui n'a qu'une valeur morphologique.

2° La limite climatique qui est une pure abstraction.

3° La limite dit locale.

Pour obtenir la hauteur de la ligne climatique sur un glacier, deux méthodes sont principalement employées : celle de Kurowski, dite de la hauteur moyenne, et celle de Brückner. La première consiste à calculer la hauteur moyenne du glacier, la seconde à rechercher la ligne hypsométrique qui partage la projection horizontale du glacier envisagé dans le rapport de 1 à 3, ce rapport étant celui de la surface de la zone de fusion à celle du bassin d'alimentation.

Des critiques ont été formulées contre la méthode Kurowski. La principale, c'est qu'elle donne des résultats évidemment trop forts et parfois même véritablement absurdes. N'a-t-elle pas fourni au Dr Jegerlehner pour les glaciers d'un même massif, celui du Mont Rose des valeurs présentant un écart de 800 m ! [2]) Pareillement elle a donné à M. Girardin pour les deux groupes qui encadrent la haute vallée de l'Arc au-dessus de Bonneval et qui ne

---

[1]) *Deutsche Rundschau für Geographie und Statistik.* XXVIII, 11, p. 520. Vienne.

[2]) J. Jegerlehner, *Die Schneegrenze in den Gletschergebieten der Schweiz*, in *Gerlands Beiträgen zur Geophysik*, V. 3. Leipzig, 1902 et Hans Hess, *Die Gletscher*, Vieweg u. Sohn, Brunswick, 1904.

sont séparés que par la largeur de cette vallée des nombres présentant une différence de 179 à 133 m. — 2916 m. à 2790 m. pour les glaciers entre la Levanna et le col d'Arnas (rive gauche) et 3095 m. à 2903 m. pour ceux de la rive droite de l'Arc. Et la plus forte valeur a été obtenue pour les appareils exposés à l'est, c'est-à-dire situés sur le côté à l'ombre [1]). Ce résultat est la conséquence des formes topographiques des glaciers de la rive droite de l'Arc. Ces appareils sont des plaques de glaces collées contre les crètes, « peu inclinées, beaucoup plus larges que longues, par suite possédant une hauteur moyenne élevée ». M. Girardin a poussé plus loin l'expérience. Sur deux petits glaciers de cette chaîne, le Montet et les Roches, ayant même forme et même exposition, et distant à vol d'oiseau de 5 km., il a calculé la hauteur de la ligne climatique par la méthode de Kurowski ; les résultats ont été : 3077 m. pour le premier et 2923 m. pour le second, soit une différence de 154 m. [2]) !

En résumé, après trois étés passés dans cette vallée, M. Girardin estime que pour la chaîne de la rive droite de la haute vallée de l'Arc, la valeur de la ligne climatique obtenue par cette méthode est trop élevée de 60 à 167 m. —

Pour ces déterminations M. P. Girardin a pris soin de déterminer l'altitude à laquelle se terminent aujourd'hui ces glaciers, les cotes fournies par la carte de l'Etat Major étant fausses, par la suite du recul des glaciers, mais il n'indique pas par quel calcul ou par quelle construction, il est arrivé aux résultats qu'il indique. C'est qu'il ne suffit pas, en effet, dans la méthode Kurowski de prendre la moyenne arithmétique entre l'altitude de l'extrémité inférieure du glacier et celle de son extrémité supérieure. Pour avoir employé ce procédé très simple le Dr Voskule a obtenu un

---

[1]) Paul Girardin, *Les glaciers de la Savoie.* Etude physique. Limite des neiges. — Retrait., in *Bull. de la Société géographique de Neuchâtel.* XVI, Neuchâtel, 1905 (p. 16 du tirage à part).

[2]) *Ibid.*

nombre faux pour la ligne climatique sur le glacier de Hüfi[1]; les critiques qu'il a formulées contre la méthode Kurowski ne sont donc point fondées, comme l'a montré le professeur Brückner[2]. Bien plus, dans le cas spécial du glacier d'Hüfi, la valeur de la ligne climatique sur cet appareil obtenue par l'observation directe est à 20 m. la même que celle fournie par la méthode mathématique rigousement appliquée.

D'autre part, la méthode de Brückner basée sur le rapport de 1 à 3 qui existerait entre la zone de fusion et le bassin d'alimentation n'est pas d'un emploi général, ce rapport étant très différent et même inverse sur les glaciers de certaines régions. Tel est le cas pour les appareils des monts Adams et Hood dans la chaîne des Cascades (Etats-Unis). Ainsi sur la première de ces cîmes les glaciers Adams, Pinnacle et Lava ont une zône de fusion dont la superficie est respectivement double et triple de celle de leur bassin d'alimentation, et, les glaciers Rusk et Klickitat une zône de fusion égale à celle de leur bassin d'alimentation, seul le glacier Mazama possède un réservoir un peu plus étendu que sa zône de fusion. Egalement, au Mont Hood, sur deux appareils cette dernière zône est plus développée que le réservoir [3]).

Le professeur Hans Hess a proposé une nouvelle méthode de détermination de cette ligne dans les massifs pour lesquels on possède des cartes à grande échelle et sur lesquelles le relief est exprimé par des courbes[4]).

---

[1]) G. A. Voskule, *Untersuchung und Vermessung des in der letzten Rückzugsperiode verlassenen Bodens des Hüfi-Gletschers.* (In. Diss. Zürich), in *Vierteljahresschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich.* XLIX, Jahrg. 1904, H. 1 et 2.

[2]) Ed. Brückner, *Die Höhe der Firnlinie am Hüfigletscher und die Methode der Bestimmung der Höhe der Firnlinie im allgemeinen,* in *Vierteljahresschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich.* LI, 1906. Zürich. p. 50.

[3]) Harry Fielding Reid, *Studies of the Glaciers of Mount Hood and Mount Adams,* in *Zeitsch. der Gletscherkunde,* Berlin I, 2, juillet 1906, p. 131.

[4]) *Die Gletscher*, p. 67.

Dans le bassin d'alimentation ces courbes suivent les contours de l'enceinte rocheuse et ne présentent point de changement brusque de direction, aussi sont-elles largement convexes. (Fig. IV. A.)

Dans la zone de fusion, au contraire, en raison de la plus grande intensité de l'ablation sur les flancs, on voit les isohypses remonter vers l'amont, pour couper ensuite le glacier suivant une ligne plus ou moins irrégulière ; l'ensemble dessine comme une série de projections verticales de troncs de cône emboitées les unes dans les autres. (Fig. IV. B.) Pour trouver la ligne du névé, on cherche sur un des flancs du glacier la région où se produit le changement d'allure des isohypses ; on obtient ainsi un point de cette ligne ; on recommence la même opération sur l'autre flanc, et, on obtient ainsi un second point. Les moraines ne venant au jour que dans la zone de fusion, leurs points d'émersion fournissent des indications complémentaires sur l'altitude de la ligne de névé.

Pour 38 glaciers des Alpes suisses le professeur Hans Hess a calculé d'après cette méthode la hauteur de la ligne du névé. Les résultats sont sensiblement inférieurs à ceux obtenus par Jegerlehner par la méthode Kurowski. Ainsi pour la partie suisse du massif du Mont-Blanc : 2865 m. au lieu de 2940 m., pour la région du Combin 2870 m. au lieu de 3086 m., dans le groupe du Mont-Rose 2815 m. au lieu de 3127 m.

Toutes ces méthodes mathématiques ne sont applicables que dans le cabinet et supposent l'existence de cartes hypsométriques à grande échelle. Aussi bien, celle indiquée par le professeur Harry Fielding Reid pour trouver sur le terrain une valeur moyenne de l'altitude de la ligne du névé nous paraît-elle appelée à rendre des services en exploration [1].

D'après notre savant confrère de Baltimore, la moyenne entre l'altitude de la bergschrund et celle du point d'émergence des moraines superficielles donnerait une valeur très approchée de la hauteur de la ligne du névé sur un glacier.

---

[1]) Harry Fielding Reid, *Loc. cit.* p. 130.

La bergschrund, qui est produite par le décollement de la glace le long des parois encaissantes est située dans le bassin d'alimentation ; son altitude en son point le plus bas fournit donc une valeur trop forte de la hauteur de la ligne du névé, tandis que le point d'émergence des moraines superficielles qui se trouve dans la zône de fusion donne une valeur trop faible pour cette même ligne. La moyenne entre les deux nombres compensant les deux erreurs donnent un nombre relativement approché. Appliquée au mont Adams, cette méthode a donné à M. H. F. Reid pour l'altitude de la ligne du névé 2500 m., valeur exacte à 100 m. près. En exploration ce procédé nous paraît très pratique, mais à condition d'examiner soigneusement auparavant les circonstances particulières de chaque glacier et surtout si la position des points de repère dont la moyenne doit former le résultat cherché répond bien aux conditions de la définition.

S'inspirant de la méthode du professeur Hans Hess, M. Paul Girardin propose de déterminer sur le terrain la limite du névé au moyen du clisimètre. Se plaçant en station sur le bord du glacier, on cherche, au moyen de cet instrument la ligne horizontale de niveau correspondant à la hauteur de l'œil ; tant que cette ligne se dirige vers l'aval, on est encore dans la zone d'ablation ; se dirige-t-elle vers l'amont, on est déjà dans la zone d'alimentation ; enfin, si elle est plus ou moins perpendiculaire au bord du glacier, on est à peu près à la limite des deux zones [1]). Cette méthode nous paraît devoir être prise en considération.

Pendant la période qu'embrasse cette revue, des recherches ont été poursuivies sur la position de la ligne des neiges dans divers massifs.

Dans le Dauphiné région pour laquelle on ne possède jusqu'ici aucune valeur des diverses lignes des neiges M. P. Lory a calculé la limite climatique pour les massifs de Belledonne et de Chaillol, par la méthode de Kurowski [2]).

---

[1]) P. Girardin, *Les glaciers de Savoie,* p. 18.

[2]) P. Lory, *Sur la limite des neiges et sur le glaciaire dans les Alpes dauphinoises,* in *Bull. de la Société géologique de France.* IVe Série, I, V, 5, Paris, 1905. p. 553.

Sur les trois glaciers du premier groupe elle passerait à 2525 m. et sur les trois du second à 2700 m.

M. P. Lory a reconnu sur le terrain que ces valeurs étaient beaucoup trop faibles. D'après la moyenne d'observations qu'il a poursuivies pendant un assez grand nombre d'années, la ligne climatique dans ces massifs passerait respectivement à environ 2725 m. et 2875 m. et en 1904 et 1905, elle s'est relevée de 200 m. Ordinairement la méthode Kurowski donne des résultats trop forts ; il est donc permis de penser que quelque erreur a été commise dans son application.

En Savoie, des recherches sur l'altitude de la ligne locale ont été poursuivies par MM. P. Girardin et P. Mougin par divers procédés empiriques.

Pour déterminer cette ligne M. P. Mougin s'est servi des petits glaciers isolés circonscrits entre les courbes 2800-3000 m. Depuis la date du lever de la carte de l'État-major (1864) un certain nombre de ces appareils ont disparu et tous ont subi une réduction considérable. Lorsqu'il y a eu disparution, c'est que la ligne du névé dépasse actuellement l'altitude maxima qu'avait l'appareil ; dans le cas de diminution considérable, si, par exemple, l'ancien glacier est remplacé simplement par quelques plaques de névé, la ligne en question doit passer dans les environs de ces plaques. On opère ainsi par une série de tatonnements. Si ce procédé n'a pas une apparence très scientifique, il a le très grand avantage de donner des résultats se rapprochant de la réalité beaucoup plus que les formules mathématiques, surtout s'il est manié par un naturaliste très observateur et ayant une grande expérience de la montagne.

Maurienne. Après étude sur le terrain, M. P. Girardin a reconnu que, dans le massif de la rive droite de l'Arc au-dessus de Bonneval, l'altitude des fronts des glaciers fournissait une valeur de la ligne « climatique » correspondant à la réalité. Pour le massif de la rive gauche les résultats se groupent en deux séries : 2826-2876 m. et 2935-2950 m. lesquelles

correspondent aux nombres obtenus entre la Levanna et le col d'Arnas ; les différences sont dues à l'exposition [1]).

En Maurienne M. P. Mougin évalue par sa méthode empirique la hauteur de la ligne du névé à 3200 m. sur les versants exposés au soleil (*adreit*) et à 3000 m. sur ceux à l'ombre (*ubac*). Pour les glaciers du massif de la rive droite de l'Arc au-dessus de Bonneval, situés à l'*ubac* M. P. Girardin a trouvé au maximum 2950 m. ; il y a donc concordance.

En *Tarentaise*, d'après M. Mougin, la hauteur de la ligne du névé présenterait une variation plus considérable: 3200 m. à l'*adreit* et 2800 m. à l'*ubac*. La première de ces valeurs résulte de la disparition de glaciers situés entre 3000 et 3100, et la seconde de l'altitude des fronts d'appareils exposés au soleil.

Mont Blanc. Grâce au petit observatoire organisé par l'administration des Forêts sur le bord du glacier de Tête-Rousse, il a été possible de déterminer expérimentalement la limite. En 1902 jusqu'au 1er septembre cet appareil est demeuré couvert ; mais, depuis, dès le mois de juillet la couverture de neige hivernale a toujours disparu et pendant le reste de la saison le glacier a été dans toute son étendue soumis à l'ablation. Le glacier de Tête Rousse est, d'après M. Mougin, situé à l'altitude moyenne de 3200 m. — La ligne locale doit donc passer à cette hauteur environ.

Sur la chaîne des Aiguilles Rouges, la disparition d'un glacier qui était situé à la cote 2855 m. et la réduction de trois autres petits appareils logés vers 3000 m. indiquent, d'après M. Mougin, que la limite locale passe dans ce massif vers 3000 m. au moins.

De ces deux valeurs, celle des Aiguilles Rouges et celle du glacier de Tête-Rousse, ce savant forestier conclut que dans la chaîne du Mont Blanc la ligne locale passe au-dessus de 3000 m.

---

[1]) P. Girardin, *Les glaciers de Savoie*, p. 17.

Au cours des explorations et études glaciaires entreprises de 1903 à 1907 dans les diverses parties du monde, de nombreuses observations sur l'altitude des diverses lignes des neiges ont été exécutées. Pour faciliter les recherches, il nous a paru utile de réunir ces renseignements dans le tableau suivant :

EUROPE.

Norvège.

	Limite climatique.	Limite locale.	Limite topogr.	Ligne du névé.
Folgefonn (60° de Lat. N.)	1300-1400 m.[1])			

Caucase. [2])

Gl. de Taly-tchan (Kouban supérieur) 20 juillet	2825m
Gl. de Dchiper (16 août)	3109m
Gl. de Koulak (Tchegen supérieur) (30 août)	2921m
Gl. de Dsinal (Moulchara sup.) 30 août)	3164m
Gl. de Tchiri-Kol.	2825m

ASIE.

Erdchias Dagh [3])	3500m

---

[1]) J. Rekstad. *Jagttagelser fra Folgefonnens bræer,* in *Norges geologiske undersögelses Aarbog for 1905.* N° 4, Kristiania. Le Dr Rekstad estime trop élevée l'altitude de 1450-1500 m. donnée à la ligne des neiges, au Folgefonn, par Richter (*Die Gletscher Norwegens,* in *Geographische Zeitschrift.* Leipzig, 1896, p. 309).

[2]) Moriz von Déchy, *Kaukasus.* Reisen und Forschungen im Kaukasischen Hochgebirge. Berlin, Dietrich Reiner, 1905 I. p. 189, 195, 220, 223 ; II p. 139.

[3]) Philippson, *Ein Gletscher am Erdschias-Dagh (Argæus) in Klein-Asien,* in *Zeitschrift für Gletscherkunde,* I, 1. 1906, Berlin, p. 66.

		Limite climatique.	Limite locale.	Limite topogr.	Ligne du névé.
Karokorum	Tchogo Lougma [1])		4800-5400^m		
	Baltoro [2])				5700-5800^m
	Sassyr. La [3])	versant ouest 5500^m			
		versant est 5700^m			

Afrique.

Rououenzori [4])		4330^m	

Amérique.

Alaska	Mt. Mackinley [5])		
	63° de lat. N.		
	Versants S. et E.	1500-1350^m	
	Versants N. et O.	2400-2250^m	
	Saint Élie [6])		
	60° 20′ de Lat. N.		
	Versant sud		600^m
	Versant nord		1800^m

---

[1]) William-Hunter Workman, *From Srinagar to the sources of the Chogo Lungma glacier,* in *The Geogr. Journ.* Londres, XXV, 3, mars 1905, p. 262. La cote donnée par M. W. Workman se réfère aux étés 1902 et 1903.

[2]) Dr J. Jacot Guillarmod, *Six mois dans l'Himalaya.* Sandoz, Neuchâtel, p. 339. Valeur en 1902; les années moins pluvieuses, M. Jacot Guillarmod pense que cette ligne doit dépasser 5700—5800^m.

[3]) Th. Novetsky, *Iz Indii v Ferganou,* in *Zapiski imp. rousskova geografitcheskova obtchestva,* T. XXXVIII, 1. Saint Petersbourg, 1903.

[4]) H. R. H. the Duke of the Abruzzi, *The Snows of the Nile,* in *The Geographical Journal.* XXIX, 2, fév. 1907. p. 144; Dr David, *Globus,* LXXXVI, N° 4.

[5]) U. S. Geological Survey. — Professionnal Paper, N° 45. *The Geography and Geology of Alaska. A Summary of existing knowledge* by Alfred H. Brooks *with a section on climate* by Cleveland Abbe Jr.-Washington, 1906, p. 245.

[6]) Ibid. p. 245, d'après C. W. Hayes, *An expedition through the Yukon district,* in *Nat. Geographic Magazine,* Washington, IV, 1902, p. 153.

		Limite climatique.	Limite locale.	Lim'te topogr.	Ligne du névé.
Selkirks [1])				2100^m	
51° 20′ de Lat. N.					
Montagnes Rocheuses				2550^m	
51° 20′ de Lat. N.					
Andes	1° Équateur [2])				
	(Entre 0° et 2° de Lat. sud)				
	Cordillière de l'Est				4700^m
	Cordillière de l'Ouest			4800^m	
	2° Nevado da Cachi (6000^m) [3])		5000^m environ		
	(25° de Lat.) (Pérou)				
	3° Antofalla (6300^m) [4])		5000^m environ.		
	(25°, 35° de Lat. S.)				

---

[1]) I. H. Ogilvie, *The effect of superglacial debris on the advance and retreat of some canadian glaciers*, in *The Journ. of Geology*, Chicago, XII, 8, nov.-déc. 1904, p. 741. M. Ogilvie n'indiquant pas expressément à quelle limite s'appliquent les altitudes qu'il indique, nous pensons qu'il s'agit de la limite topographique.

[2]) Hans Meyer, *In den Hoch Anden von Ecuador*. Dietrich Reimer, Berlin. 1907.

[3]) Alfred Benrath, *Ueber eine Eiszeit in der peruanischen Küstcordillere*, in *Pet. Mitt.*, Gotha, 50 **B**, 1904, XI.

[4]) Fritz Reichert, *Expedition und Hochtouren in der Puna de Atacama (Cordillera de los Andes)*, in *Mitt. d. Deutschen und Oesterreichischen Alpenvereins*, 1904, 15 nov., N° 21, p. 255.