

**Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
Rapports de travail de l'Institut Suisse de Météorologie
Rapporti di lavoro dell'Istituto Svizzero di Meteorologia
Working Reports of the Swiss Meteorological Institute**

Zürich

No. 143

"ETUDE SYSTEMATIQUE DU POIDS DE LA NEIGE EN SUISSE"

par

Bernard Primault, Zürich

Juin 1987

Couverture de neige	551.578.46
Poids de la neige	624.042.4
Climatologie	551.58

Zusammenfassung

Infolge der Ueberarbeitung der schweizerischen Normen zur statischen Berechnung von Gebäuden (SIA/160) ist die grösstmögliche Dokumentation über Schneelast gesichtet worden. Da an der SMA keine direkten Messungen (Wägungen der gesamten Schneedecke) vorgenommen werden, wurde das Modell von Martinec zur Berechnung der Schneelast verwendet.

So ist das Gewicht der Schneedecke mit den Tag für Tag notierten Schneehöhen errechnet worden. Die längste verfügbare homogene Messperiode beträgt 14 Winter. Zuerst wurde von dieser Periode die grösste Schneebelastung bestimmt und kartographisch dargestellt. Dann wurden die Frequenzverteilungen errechnet und mit denjenigen von längeren Perioden verglichen. Auch wurde der Zeitpunkt der grössten Schneebelastung im Jahr errechnet sowie deren Wert für lange Wiederkehrperioden (50 und 100 Jahre). In Anbetracht der Wichtigkeit der Be- und Entlastung von Bauwerken hat man versucht, eine Darstellungsart für die diesbezüglich vorkommenden Schwankungen der Schneelast im Laufe des Winters zu finden. Abschliessend wurden die Schwächen der Methode besprochen.

Résumé:

A la suite de la révision des normes suisses servant aux calculs statiques des constructions (SIA 160) on a rassemblé la plus grande documentation possible sur le poids de la neige. Vu le manque de données directes à l'ISM, (pesage de carottes), on s'est servi du modèle de Martinec pour calculer au jour le jour le poids de la couche totale de neige.

On a tout d'abord dessiné une carte du maximum ainsi obtenus durant 14 hivers (plus longue période homogène disponible), puis établi des répartitions fréquentielles pour cette période comparativement à de plus longues.

On a aussi calculé le moment de l'année où le maximum est atteint ainsi que sa valeur pour de plus longues périodes de retour (50 et 100 ans). On s'est appliqué également à rechercher un mode d'expression pour les effets de charge et décharge dus aux fluctuations de la couche de neige au cours de l'hiver. Enfin, on a ajouté quelques considérations sur les faiblesses de la méthode.

Riassunto

In seguito alla revisione delle norme svizzere per il calcolo statico degli edifici (SIA 160), è stata raccolta la più ampia documentazione possibile sul carico della neve. Dal momento che l'ISM non dispone di misure dirette (pesatura delle carote), si è ricorsi al modello di Martinec per calcolare il peso della neve di giorno in giorno. Dapprima è stata allestita una cartina del massimo così ottenuto per 14 inverni (il periodo più lungo a disposizione con misure omogenee). In seguito si è stabilita la distribuzione frequenziale per questo periodo paragonata a quella di lassi di tempo più lunghi. Si è pure calcolato il momento dell'anno dove viene raggiunto il carico massimo, così come il suo valore per dei periodi di ritorno più lunghi (50 e 100 anni). Si è pure cercato un metodo per caratterizzare gli effetti di carico e di alleggerimento dovuti alle variazioni dello strato nevoso nel corso dell'inverno. A conclusione sono state aggiunte alcune considerazioni sui punti deboli del metodo di analisi utilizzato.

Summary

For the revision of the swiss norms used in the building construction for the statics computation (SIA 160), the largest possible documentation on the weight of snow has been collected. As no measurements of the weight of the accumulated snow is performed at the Swiss Meteorological Institute, the model of Martinec has been used for the daily computation of the weight of the snow. In the first part, a chart of the maximum weight of the snow for 14 winters (the longest homogeneous record at disposal) has been established. Then, the repartition of the frequencies for different weight classes has been computed and compared for some stations with longer periods. The time of the year when the maxima are reached has been determined as well as their values for longer periods of return (50 and 100 years).

An attempt has been made to try to represent the load variations due to the fluctuations of the snow cover during winter. Finally, some considerations on the shortcomings of the method are presented.

Sommaire

	pages
1. Situation du problème	5
2. Les chiffres disponibles	6
3. Le poids maximum	8
3.1 Répartition locale	8
3.2 Mode de représentation	9
3.3 Valeurs climatologiques	10
3.4 Répartitions fréquentielles	10
3.5 Diagrammes de Gumbel	11
4. Quand le maximum est-il atteint	11
5. Durée	12
6. Charge et décharge	13
7. Faiblesses de la méthode	13
8. Epaisseur de la couche de neige	15
Liste des figures	17
Liste des tableaux	17

Etude systématique du poids de la neige en Suisse

1. Situation du problème

Les précipitations constituent le phénomène météorologique le plus aléatoire. C'est la raison pour laquelle le réseau des observations pluviométriques est le plus dense. Celui-ci ne fournit pourtant que des informations sur les quantités d'eau recueillies au pluviomètre Hellmann placé à 1,5 m du sol.

Les travaux de Mercanton (1938 à 1953), Sevruck (1982) et autres ont cependant montré que de telles valeurs ne sont directement utilisables que pour des comparaisons soit entre stations, soit entre diverses années en un même lieu. Dès que l'on veut en tirer des indications dans un but précis (établissement de bilans hydriques par exemple), il est nécessaire de les adapter au problème spécifique.

Cette adaptation doit tenir compte de la forme de l'instrument et surtout du profil du vent. Par suite de ce dernier, il faudra ajouter un certain montant si l'on désire des valeurs correspondant à un niveau inférieur à l'appareil, effectuer une défalcation si l'objet est situé au-dessus.

En raison de sa nature, la neige est entraînée au-dehors du pluviomètre plus encore que la pluie. Les adaptations en plus ou en moins devront donc tenir compte de ce phénomène particulier.

On pourrait être tenté de parer à cet inconvénient en plaçant le pluviomètre au ras du sol. Une telle disposition aurait l'avantage de fournir des informations directement utilisables par les hydrologues, mais réclamerait des adaptations encore plus conséquentes pour les autres usagers. En outre, la difficulté d'une mesure exacte des précipitations nivales ne serait pas éliminée pour autant, bien au contraire, en raison des amas de neige qui se formeraient nécessairement autour de l'appareil.

La méthode à utiliser dans la mesure des précipitations nivales dépend du but poursuivi: les services de la voirie sont intéressés par la fréquence et la quantité de neige fraîchement tombée; les stations de sport d'hiver par la durée d'enneigement et par l'épaisseur totale de la couche; les hydrologues par la réserve d'eau que la dite couche représente; les architectes et les ingénieurs par son poids.

Dans ce dernier cas, le seul moyen d'obtenir des informations exactes est la mesure directe du poids de la couche neigeuse au moyen de carottes extraites à l'endroit désiré. C'est la méthode utilisée aux stations spécialisées de l'Institut fédéral de recherches sur la neige et les avalanches.

Mais le poids de la neige n'est pas seulement nécessaire pour la planification et le dimensionnement des ouvrages de défense contre les avalanches, il doit être aussi pris en considération lors des calculs statiques précédant l'établissement de toute construction. Il fait donc partie intégrante des normes édictées par la SIA afin d'assurer la stabilité et la longévité des constructions quelle qu'en soit la nature (norme SIA 160).

Si l'Institut du Weissfluhjoch dispose de longues séries de mesure directe du poids de la neige dans les Alpes (en général au-dessus de 1000 m d'altitude) de telles mesures font, à part quelques rares exceptions, complètement défaut en plaine. Et pourtant c'est là que se trouve le plus grand nombre de constructions.

Le manque d'informations sûres se traduit dans la pratique par la prise en considération soit de facteurs de sécurité élevés, ce qui renchérit la construction, soit d'un risque, ce qui peut conduire à l'effondrement de l'ouvrage. Nombre d'accidents ont montré ces dernières années l'importance de ce risque. Ceci a conduit la SIA à faire réviser sa norme 160 par un groupe d'experts.

Cette révision a été le point de départ de calculs conséquents dont les résultats numériques sont consignés ailleurs (Primault et Kummer, à paraître). Comme des chiffres préliminaires ont été publiés déjà (Primault, 1981), nous rendons le lecteur attentif au fait que les périodes considérées alors ne sont pas identiques à celles de la présente étude et que, partant, il peut y avoir des différences considérables. Même les derniers chiffres disponibles ne doivent pas être considérés comme définitifs, les séries disponibles étant généralement trop courtes pour pouvoir être taxées de "climatologiques".

2. Les chiffres disponibles

Comme nous l'avons signalé plus haut, la méthode la plus sûre pour fournir l'information voulue serait l'extraction et la pesée à inter-

valles réguliers de carottes comprenant la totalité de la couche de neige. On aurait ainsi la "valeur en eau" de la neige ce qui permettrait une évaluation statistique fiable.

Malheureusement, de telles mesures ne sont pas effectuées de façon systématique au-dessous de 1000 m d'altitude, ni même au-dessus dans le Jura.

On dispose par contre de mesures journalières de la hauteur de la neige fraîchement tombée et de la hauteur totale de la neige. De telles mesures sont faites depuis le 1er janvier 1971 à 07h30 à toutes les stations du réseau climatologique, qu'il s'agisse de stations automatiques ou conventionnelles. Afin d'avoir des valeurs comparables, ces mesures sont faites sur des planchettes spécialement conçues à cet effet. A un nombre restreint de stations, des mesures comparables ont été effectuées avant cette date, si bien que certaines extrapolations peuvent être envisagées pour obtenir des valeurs de caractère climatologique (durée de la période couverte: 30 ans au moins selon les prescriptions de l'OMM).

Malgré ces lacunes (pas de mesures directes, séries trop courtes), il est possible d'obtenir des valeurs indicatives grâce au modèle développé par Martinec (1977) et testé par son auteur au moyen des valeurs rassemblées par l'Institut du Weissfluhjoch.

Le dit modèle se base sur une courbe de tassement des diverses strates de neige successives et qui constituent la couche totale.

Certes, le modèle de Martinec ne tient pas compte de tous les aléas que subit une chute de neige depuis son accumulation au sol jusqu'à sa disparition complète sous l'effet du rayonnement du soleil et/ou de hautes températures de l'air. Il ne tient entre autre pas compte de la pluie (chute d'eau liquide) dont peut se gonfler une couche de neige. Selon le modèle, le poids diminue en fonction de la diminution de l'épaisseur totale, alors qu'effectivement le poids total peut augmenter malgré la percolation et les phénomènes de fusion. Tous les chiffres de "poids de la neige" publiés dans le cadre de la présente étude ont été calculés selon la méthode de Martinec. Nous tenons à lui exprimer ici notre reconnaissance pour l'aide apportée. Nos remerciements s'adressent également à M. W. Kummer de l'ISM qui a établi tous les fichiers et programmes informatiques afférents à la présente étude.

Le présent travail apporte une vue essentiellement graphique de la question. Les chiffres de base en sont consignés dans un fascicule approprié de la série "Klimatologie der Schweiz" (Primault et Kummer, à paraître).

3. Le poids maximum

3.1 Répartition locale

La valeur qui intéresse au premier chef l'architecte et l'ingénieur qui doivent assurer la stabilité de constructions est sans conteste le poids maximum que peut atteindre une couche de neige. En raison des phénomènes de tassement, le poids maximum ne coïncide généralement pas avec la hauteur maximum de la neige. Ces deux notions doivent donc être traitées séparément.

Le poids qui intéresse les spécialistes n'est pas celui de la couche de neige au sol, mais celle qui s'accumule effectivement sur un toit ou sur un pont. C'est la raison pour laquelle la norme SIA 160 donne quelques exemples de la manière dont il faut conduire les calculs pour tenir compte de deux facteurs principaux: la hauteur du toit au-dessus du sol, les amas formés par le vent.

Nous avons vu au chapitre 1 que les dépôts de neige diminuaient en général avec des vents violents. Ainsi, sur un toit plat, on aura moins de neige qu'au sol et cela en fonction du régime de vent qui a soufflé au moment et immédiatement après la chute de neige. En comparant les deux poids, celui qui règne au sol est toujours le plus important. De ce fait, et pour plus de sécurité, on utilisera celui-ci dans les calculs.

Dans tous les autres cas (toits en pentes simples ou combinées, surfaces planes situées à plusieurs niveaux), il faut tenir compte des amas provoqués par le vent, soit sous forme d'accumulations locales, soit de corniches. La charge ne sera donc plus uniformément répartie sur l'ouvrage, mais y exercera des pressions très variables suivant les endroits. O'Bourke et al. (1985) ont étudié en détail cet aspect particulier.

Il n'est pas possible d'entrer dans tous ces détails dans une étude générale comme celle-ci. Aussi, les chiffres mentionnés se rapportent-ils toujours au poids calculé pour la couche de neige au sol.

3.2 Mode de représentation

En partant de données comparables (même méthode de mesure, même mode de calcul, même période de référence), on peut tracer une carte indiquant la valeur à introduire dans les calculs statiques. Vu les très nombreux ajustements (interpolations et extrapolations) indispensables à l'établissement d'une telle carte et surtout à l'échelle qui ne permet pas d'entrer dans tous les détails requis par la pente et l'exposition du terrain, une telle carte n'a qu'une utilité pratique toute relative (Fig.1).

La norme SIA 160 n'indique qu'une seule formule pour le calcul du poids de la neige à introduire dans les modèles statiques et cela malgré les différences régionales que l'on rencontre nécessairement dans un pays coupé comme le nôtre. Cette formule, dès un minimum atteint, ne tient compte que de l'altitude. Afin d'adapter les chiffres ainsi obtenus à la réalité, deux voies se présentaient: majorer ou diminuer selon les régions le chiffre obtenu d'un certain pourcentage, adapter l'altitude prise en considération pour que le chiffre obtenu alors corresponde au maximum du poids de la neige.

Dans le premier cas, les adaptations régionales devraient diminuer avec l'altitude. Malheureusement, ne disposant pas de suffisamment de stations dans les zones les plus critiques (vallée de Glaris en particulier), un tel procédé apporte une incertitude supplémentaire (Fig. 2).

La seconde voie, retenue par le groupe d'experts de la SIA, apporte par contre une solution pratique au problème posé. Au lieu de partir des altitudes réelles et d'adapter les valeurs obtenues d'un modèle uniforme par une correction dépendant à la fois de la région et de l'altitude, on a préféré corriger l'altitude réelle. En effet, les valeurs disponibles ne permettaient pas de tracer une carte suffisamment fiable et l'échelle utile pour sa publication n'apportait pas la finesse voulue pour une application pratique.

Pour parer à ces deux défauts, on a recherché la différence entre l'altitude réelle (selon la carte topographique) et l'altitude qu'exigerait le modèle pour atteindre la valeur maximum calculée. On obtient alors des quantités beaucoup plus cohérentes et qui ne dépendent, elles, que de la région considérée.

A la figure 3, nous donnons une analyse détaillée de ce procédé. Cette figure varie en plusieurs points de celle publiée avec la norme 160, édition provisoire de 1985 et cela pour deux raisons principales: nous disposons de plus longues séries que le groupe d'experts, les buts poursuivis ne sont pas identiques. Pour les calculs statistiques, on se servira de la carte accompagnant les normes et dont elle est partie intégrante. Dans les cas extrêmes, on retiendra la plus grande des deux valeurs, peut-être la moyenne, mais en aucun cas la plus petite et cela pour des raisons de sécurité.

3.3 Valeurs climatologiques

Comme nous l'avons relevé déjà, une période de référence climatologique doit compter 30 années au moins selon l'OMM. Nous ne disposons que de peu de stations pour lesquelles nous possédons une telle documentation.

Au tableau 1, nous avons extrait quelques valeurs climatologiques que nous mettons en regard de celles découlant de la période comparative de 14 années.

Les différences qui résultent de ces comparaisons montrent bien le caractère aléatoire de cet élément météorologique.

3.4 Répartitions fréquentielles

"Les années se suivent, mais ne se ressemblent pas!" dit un adage populaire. On en retrouve la vérification ici. La figure 4 montre que c'est chaque fois une région étroitement délimitée qui subit une forte chute de neige durant un hiver déterminé.

On rencontre ainsi pratiquement chaque hiver de fortes chutes de neige en certains endroits et, au contraire, des régions qui en sont presque ou totalement privées. Pour une même station, les fluctuations sont le plus souvent très importantes.

A la figure 5, nous avons représenté les répartitions fréquentielles pour les mêmes périodes qu'au tableau 2, à savoir la totalité des années disponibles et les 14 années du plus grand nombre de stations. (La signification des diagrammes est expliquée dans Primault, 1978).

3.5 Diagrammes de Gumbel

Si les répartitions fréquentielles permettent de se rendre compte des limites entre lesquelles l'élément météorologique a évolué au cours d'une période donnée et d'indiquer certains points de repère, elles ne permettent par contre pas de les extrapoler de façon utile au-delà de la dite période. Pour ce faire, divers procédés statistiques sont couramment utilisés. Celui qui nous paraît le plus approprié ici est le diagramme de Gumbel.

M. G. Hertig de l'EPFL a eu l'amabilité d'analyser certaines de nos séries selon ce procédé statistique. Nous donnons au tableau 3 diverses valeurs de retour qui ressortent de ces calculs.

Selon la théorie de Gumbel, il n'est possible d'extrapoler les séries de mesures que d'une période égale à celle qui constitue la série elle-même. Ainsi, pour une série couvrant 14 hivers, on ne peut établir une valeur de retour que pour 28 hivers tout au plus avec une fiabilité suffisante. Bien que nos séries les plus longues couvrant 54 hivers n'existent que pour un nombre restreint de stations, nous avons extrapolé tous les diagrammes de Gumbel disponibles jusqu'à une période de retour de 100 hivers. Nous sommes pleinement conscient que, ce faisant, nous dépassons et de beaucoup les possibilités effectives de la méthode statistique utilisée.

A la figure 6, nous avons reporté en fonction de l'altitude les valeurs maximum ainsi obtenues pour des périodes de retour de 50 et 100 hivers. On constate que les deux nuages de points sont parfaitement cohérents, même si nous avons outrepassé les possibilités effectives de la méthode. Pour l'ingénieur ou l'architecte, l'enveloppe supérieure tracée sur ces deux figures donnera une idée des poids maximums pouvant être atteints sous nos climats. Une restriction supplémentaire s'impose cependant: nous n'avons pas tenu compte ici des particularités régionales.

4. Quand le maximum est-il atteint?

Les chutes de neige débutent en automne et s'étendent jusqu'au printemps. La couche qui en résulte disparaît en plaine à certaines époques, alors qu'elle se maintient en altitude durant une période prolongée. Les apports successifs ont donc tendance à s'y accumuler jusqu'au jour où, la chaleur du printemps aidant, l'ablation débute et provoque une chute assez rapide du poids total.

En calculant, jour par jour, la moyenne du poids total, on obtient une courbe de la répartition pour l'hiver.

A la figure 7, nous avons retranscrit de telles courbes pour un certain nombre de stations pour lesquelles nous disposions de longues séries. On y constate qu'effectivement le maximum non seulement est plus prononcé en montagne qu'en plaine, ce qui est une lapalissade, mais aussi que plus on s'élève et plus ce maximum est décalé vers le printemps. En outre, on trouve en plaine et cela de part et d'autre des Alpes deux maximums distincts (mi-janvier et premier tiers de février). Ces deux maximums se rapprochent pour se réunir en un seul au-dessus de 900 m environ.

A la figure 8, nous avons reporté en fonction de l'altitude la date à laquelle la moyenne la plus élevée avait été atteinte. Ici, comme ailleurs (chapitre 3.5 en particulier), nous n'avons pas tenu compte de particularités régionales.

Rappelons que les valeurs transcrites à la figure 7, sont des poids calculés de la couche de neige. Bien que ceux-ci découlent de l'observation faite de l'épaisseur totale, il n'en sont pas une fonction simple. En effet, chaque augmentation est prise en considération et incluse dans le calcul de la courbe de tassement. La résultante ou "poids total" est la somme de ces couches successives. Il est donc plus que probable que le moment du poids maximum ne corresponde pas avec le jour où la couche la plus épaisse a été observée. En outre, on ne peut tirer de nos courbes des informations sur la hauteur de neige utile pour la pratique d'un sport: le ski de piste par exemple.

5. Durée

Ayant calculé au jour le jour le poids de la neige au sol, il est relativement aisé d'en extraire pour chaque hiver le premier jour et le dernier jour où cette valeur n'est pas nulle, ainsi que des valeurs intermédiaires. Comme nous le relevons ci-dessus (chapitre 4), on rencontre tant en plaine qu'en montagne des interruptions dans la couverture neigeuse. Aussi, les valeurs que nous donnons ailleurs (Primault et Kummer, à paraître) ne signifient nullement qu'entre la première et la dernière date relevée, il y eut chaque matin de la neige au sol. Ces chiffres ne peuvent donc être utilisés que pour déterminer la date de la première neige ayant couvert le sol et celle de la dernière date où une telle couverture fut constatée.

6. Charge et décharge

Au chapitre précédent, nous avons examiné plus spécialement le moment où la première charge intervient et celui où la surcharge disparaît. Pourtant, entre ces deux dates ou plus exactement durant la période qui les sépare, on ne rencontre pas une augmentation constante jusqu'au maximum de la charge (chapitre 4) et une diminution ensuite que l'une et l'autre soit linéaire ou non. La courbe du poids de la neige au cours de l'hiver est très capricieuse. On y trouve une série de maxima séparés par des minima, voire des périodes sans neige.

Dans les calculs statiques et surtout dans ceux de la charge de service, ces fluctuations sont d'une importance capitale, principalement pour les constructions dites légères (poutres en treillis métallique) en raison de la fatigue des matériaux.

Reprenant les courbes annuelles calculées, nous avons établi la durée en jours où le poids de la neige était situé entre 0 et 10% du maximum de la période, entre 10 et 20 %, entre 20 et 30%, etc. On a ainsi un ordre de grandeur du nombre de fois par hiver où il y a augmentation de la charge, respectivement diminution de celle-ci. L'ingénieur pourra alors supputer la durabilité de son oeuvre en connaissant mieux la fatigue à laquelle le matériau dont il est fait est soumis. Ceci est de la plus haute importance dans le calcul des pièces de fer et d'acier, surtout des poutres en treillis.

Pour apporter un renseignement supplémentaire, nous avons dénombré pour chaque hiver le nombre de période où la charge avait changé de classe et en avons retenu la plus grande et la plus petite valeur de chaque station (Tableau 4).

Nous sommes pleinement conscient que, ce faisant, nous ne répondons pas exactement aux préoccupations de l'ingénieur qui préférerait avoir une indication exacte du nombre de fois par hiver où le poids a augmenté ou diminué. Il trouvera cependant ici un ordre de grandeur qui fait défaut dans la documentation actuelle.

7. Faiblesses de la méthode

Nulle oeuvre humaine n'est parfaite, et celle que nous présentons ici ne fait pas exception. Nous en relèverons ici quatre défauts principaux pour le constructeur.

- a) Les courbes de tassement que nous avons utilisées pour nos calculs s'appuient avant tout sur des mesures faites en montagne. Elles n'ont été contrôlées pour la plaine qu'en un nombre très restreint de points (stations d'observation ou années). Leur validité au-dessous de 1000 m d'altitude environ n'est par conséquent pas strictement garantie.
- b) Les relevés de base (mesure de la hauteur de la neige totale) ont été pratiqués au sol. Par conséquent, les poids calculés le sont pour ce niveau. Dès qu'on s'élève, (toit plat par exemple), la neige soufflée par le vent n'est plus compensée par de la neige venue d'ailleurs. Par conséquent, la hauteur de la neige restant sur un toit plat situé au-dessus du sol est inférieure à celle mesurée au sol et, partant, son poids aussi.
- c) Dans tous nos calculs, nous avons admis que la neige était uniformément répartie sur toute la surface du terrain. Ceci impliquerait que toutes les chutes de neige de l'hiver aient eu lieu par temps calme, ce qui est rarement le cas. Notre hypothèse implique en outre qu'entre ces chutes, il n'y a pas eu de vent, tant que la nouvelle surface ne se soit consolidée sous l'influence du rayonnement, de températures supérieures à 0°C ou du tassement naturel. Cette seconde condition n'est pratiquement jamais réalisée. Dans la nature, les irrégularités du terrain sont égalisées par la neige soufflée, si bien que la hauteur totale mesurée n'est pas représentative pour toute la région, mais seulement pour l'endroit restreint où se trouve la planchette. Cette endroit ne se trouve jamais dans une dépression du terrain. Pourtant, elle peut être située dans un endroit particulièrement bien ventilé ou dans un remous local provoqué par des obstacles ambiants, naturels (arbres) ou artificiels (immeubles). Dans ce second cas, les hauteurs mesurées peuvent différer plus ou moins fortement de la couche générale et cela aussi bien en plus qu'en moins selon la direction du vent.
- d) Les principaux utilisateurs des données qui sont exposées plus haut sont des architectes ou des ingénieurs chargés de calculs statiques concernant des objets situés au-dessus du sol (toits, ponts, etc.) Les formes des surfaces supérieures de ces objets s'éloignent généralement de l'horizontale. Par conséquent, la

répartition de la neige y est fort complexe. Non seulement toutes les dépressions ont tendance à être comblées comme sur le terrain, mais encore le risque de tourbillons, partant de la formation d'amas locaux, y est fortement accru. Enfin, la neige forme des amas plastiques et a une certaine cohésion. Par conséquent, on constate souvent la formation de corniches le long des bords de toits. Ces corniches sont souvent accentuées par les mouvements de reptation de la neige sur les pans de toits. L'utilisateur devra donc, dans ses calculs, tenir compte de ces phénomènes qui entraînent une répartition très inégale du poids supplémentaire sur ces objets.

8. Épaisseur de la couche de neige

Jusqu'ici, nous nous sommes restreint à examiner le poids de la neige sous des aspects divers. Possédant des extraits d'observation concernant plus spécialement les hauteurs totales de neige mesurées jour après jour, il nous a paru judicieux d'en tirer des renseignements pouvant être utiles à d'autres branches de l'économie, en particulier le tourisme et la voirie.

Reprenant nos chiffres, nous en avons tiré pour chaque hiver la date où, pour la première fois, certaines épaisseurs (10, 20, 30, 50 et 80 cm), ont été atteintes à nos stations. On a procédé de la même façon pour obtenir la dernière date où ces épaisseurs avaient été notées.

Mais, comme nous l'avons relevé déjà, l'épaisseur de la couche totale de neige varie fortement au cours de l'hiver. Par conséquent, il n'est nullement certain qu'entre la première et la dernière date indiquée, la hauteur-seuil ait toujours existé. Une telle circonstance, si elle se révélait, représenterait une exception.

Aussi, avons-nous décompté tous les jours de l'hiver au matin desquels les différents seuils ont été atteints ou dépassés. Toutes ces valeurs étant publiées ailleurs (Primault et Kummer, à paraître), nous n'y reviendrons pas ici.

Pourtant, nous avons tracé à la figure 9 la carte indiquant le nombre de jours où la couche de neige atteint 30 cm et cela dans 75% des

années à disposition. Nous avons retenu la hauteur de 30 cm en pensant qu'il s'agissait du minimum indispensable à la pratique du ski sans abimer l'herbe des pistes. Certes, l'échelle de la carte ne permet pas de reproduire en détails les conditions locales qui sont fortement tributaires des vents, du rayonnement (pente et exposition) et de la température. Elle donne cependant une approximation utilisable par les promoteurs et les planificateurs.

9. Bibliographie

- Martinec J. Expected snow loads on structures from incomplete hydrological data.
Journal of Glaciology. 1977; 19(81): 185-195
- Mercanton P.L. Recherches de technique pluviométrique.
Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.
Jahrgänge 1938, 1939, 1940, 1944 und 1953.
- O'Bourke M.J., Asce M., Speck R.S., Asce A.M. and Stiefel U.
Drift snow loads on multilevel Roofs.
Journal of Structural Engineering. 1985; III (2): 290-306
- Primault B. De la représentation des limites des séries climatologiques.
Rapports de travail de l'Institut suisse de météorologie
1978; (78): 7 + 2 tab + 5 fig.
- Primault B. Du poids maximum de la neige en Suisse
Rapports de travail de l'Institut suisse de météorologie
1981; (96): 8 + 1 tab. + 5 fig.
- Primault B. et Kummer W. Poids de la neige et durée d'enneigement.
A paraître dans la série: Klimatologie der Schweiz.
- Sevruk B. Methods of correction for systematic error in point precipitation measurement for operational use.
World Meteorological Organization. Operational Hydrology.
Report No 21 (WMO-No 589). 1982: 91

Adresse de l'auteur

B. Primault
Witikonerstrasse 446
CH-8053 Zurich

Note: On peut se procurer ce fascicule auprès de l'Institut suisse de météorologie, CH-8044 Zurich

Liste des figures

- Figure 1. Poids maximums calculés (carte).
- Figure 2. Comparaison entre la norme SIA (ancienne version) et la valeur calculée (carte).
- Figure 3. Différence entre l'altitude qui devrait être prise en considération pour obtenir en utilisant la norme SIA (ancienne version), le poids maximum et l'altitude réelle (carte).
- Figure 4. Hiver comportant le poids maximum (carte).
- Figure 5. Répartitions fréquentielles comparées.
- Figure 6. Valeur de retour pour 50 et 100 ans en fonction de l'altitude.
- Figure 7. Courbes de valeurs journalières moyennes du poids de la neige.
- Figure 8. Date du poids moyen maximum en fonction de l'altitude.
- Figure 9. Nombre de jours, trois hivers sur quatre, où la couche de neige atteint ou dépasse 30 cm.

Liste des tableaux

- Tableau 1. Valeurs comparées des poids extrêmes d'un hiver (kg/m^2) de 14 et de 30 années.
- Tableau 2. Répartitions fréquentielles comparées.
- Tableau 3. Valeurs de retour selon Gumbel.
- Tableau 4. Nombre de fois où il y a eu, en 14 ans, changement de classe de 10% du poids maximum.

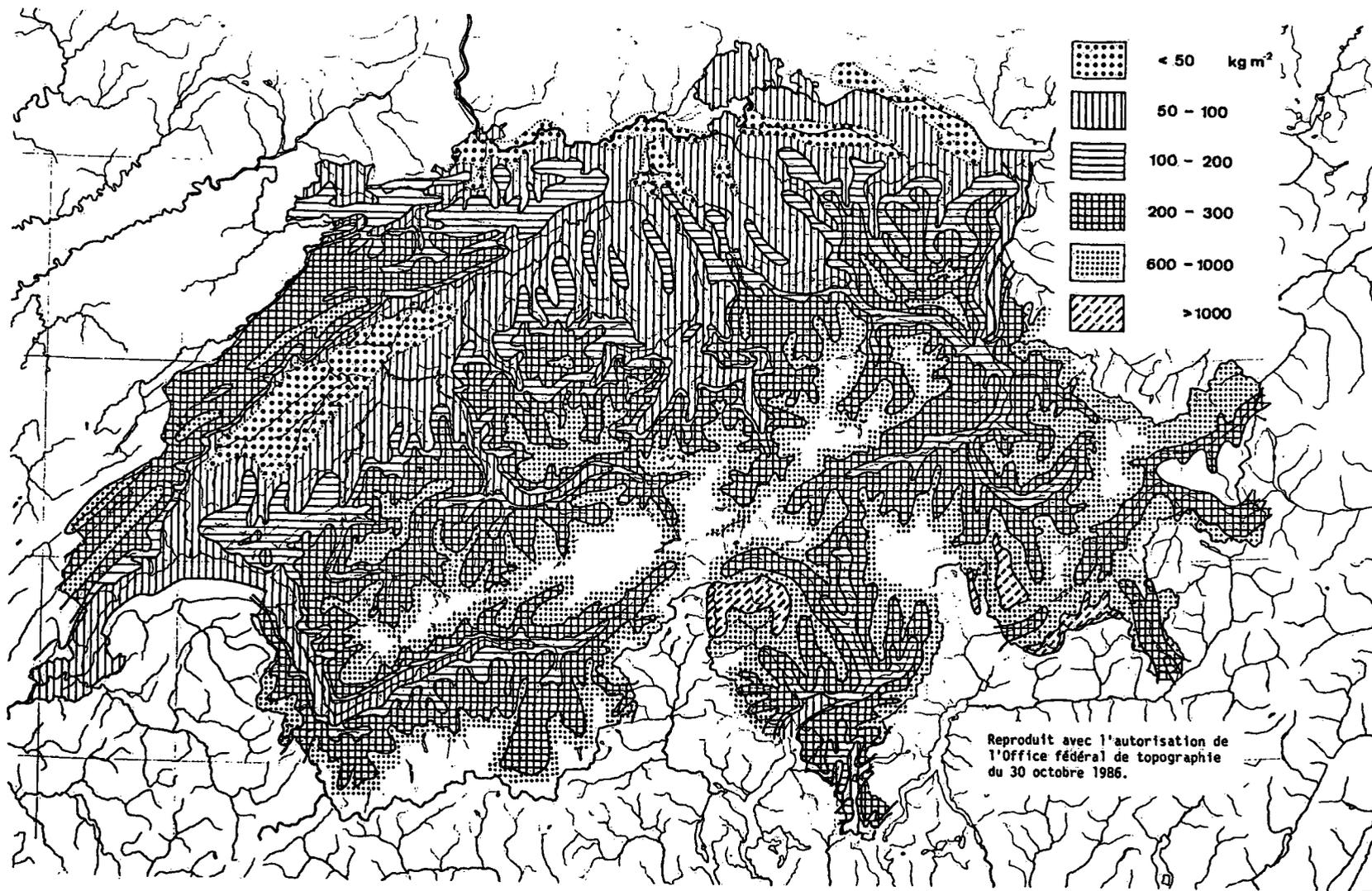


Figure 1. Poids maximums calculés

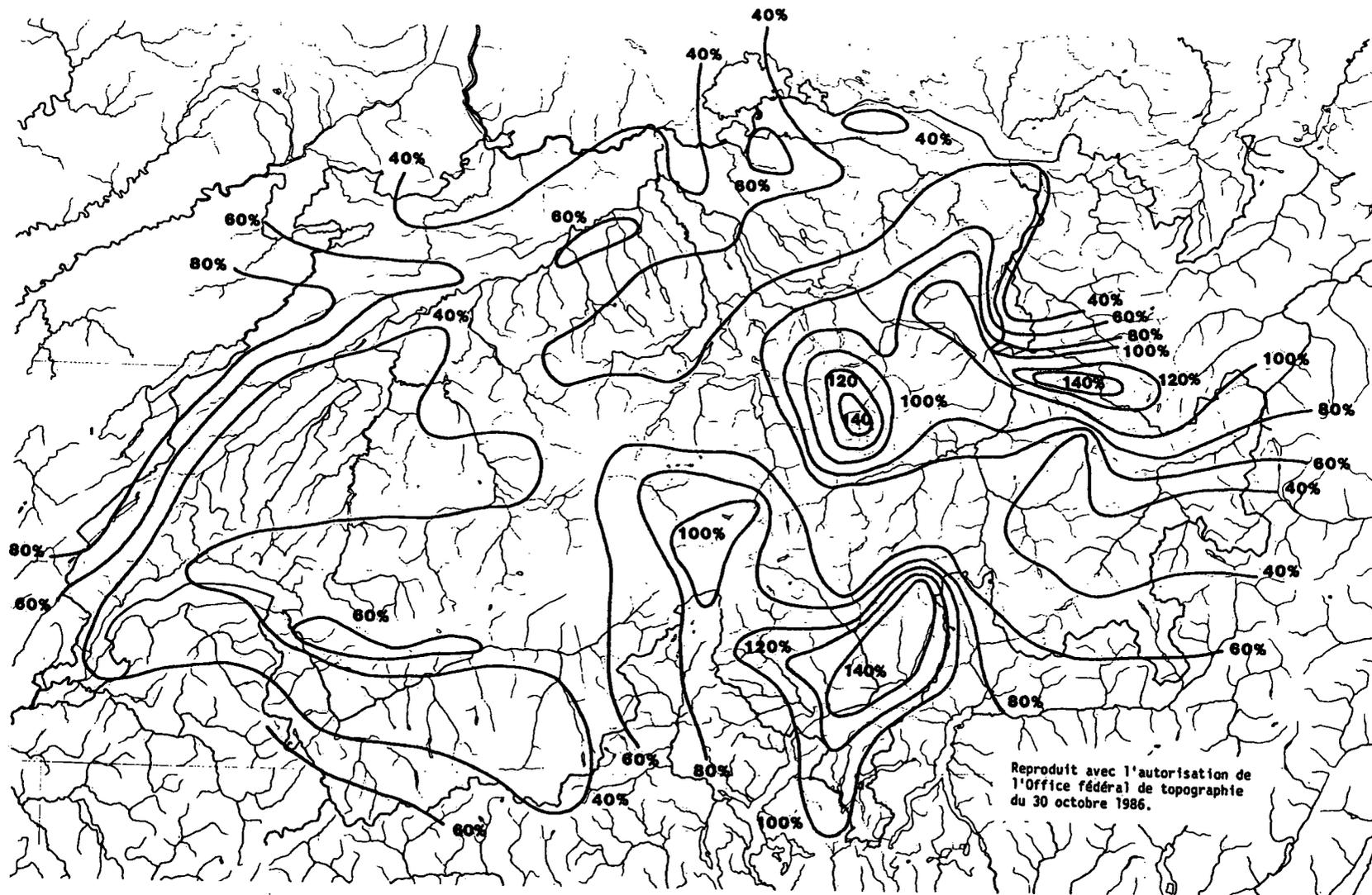


Figure 2. Comparaison entre la norme SIA (ancienne version) et la valeur calculée

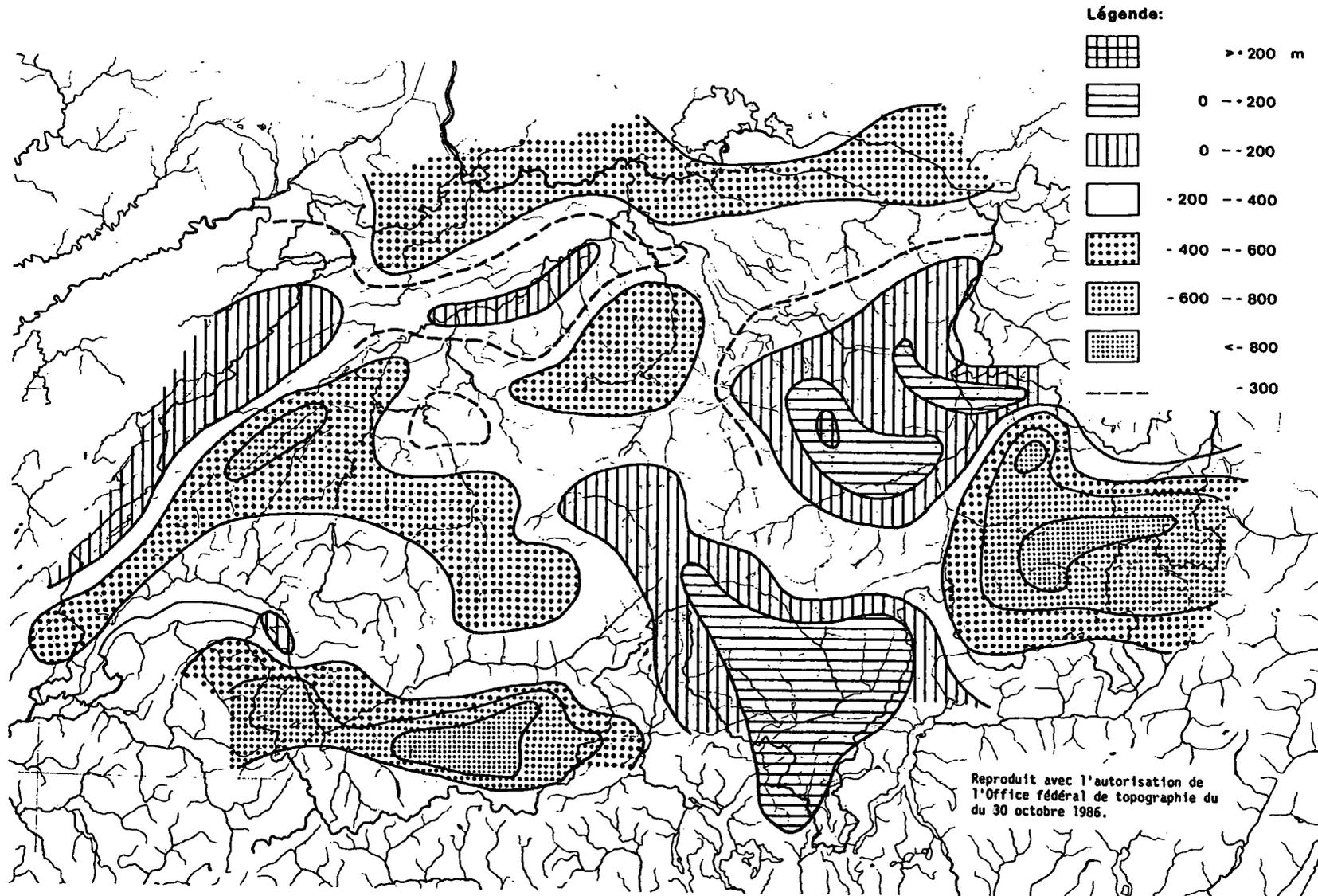


Figure 3. Différence entre l'altitude qui devrait être prise en considération pour obtenir en utilisant la norme SIA (ancienne version), le poids maximum et l'altitude réelle

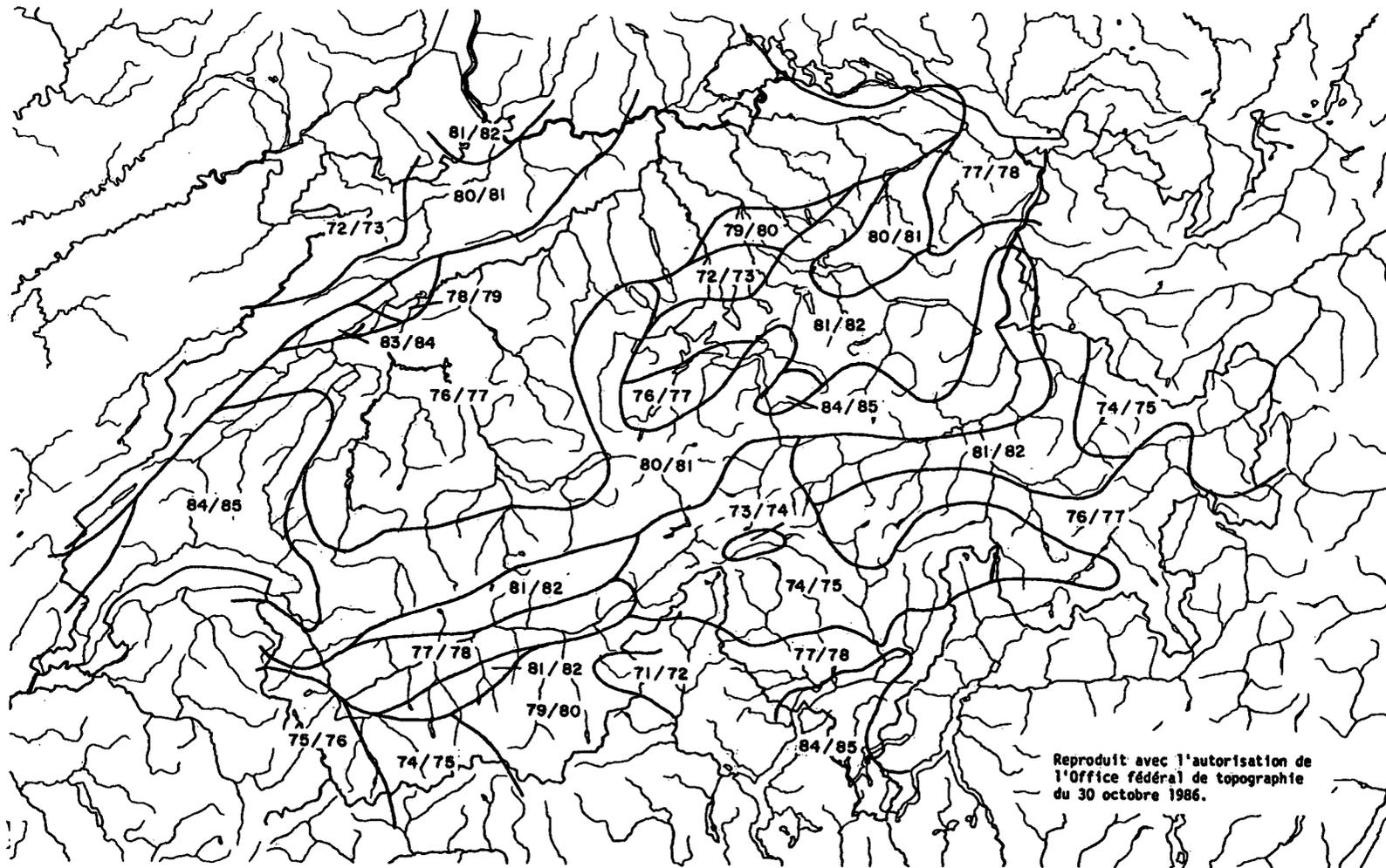
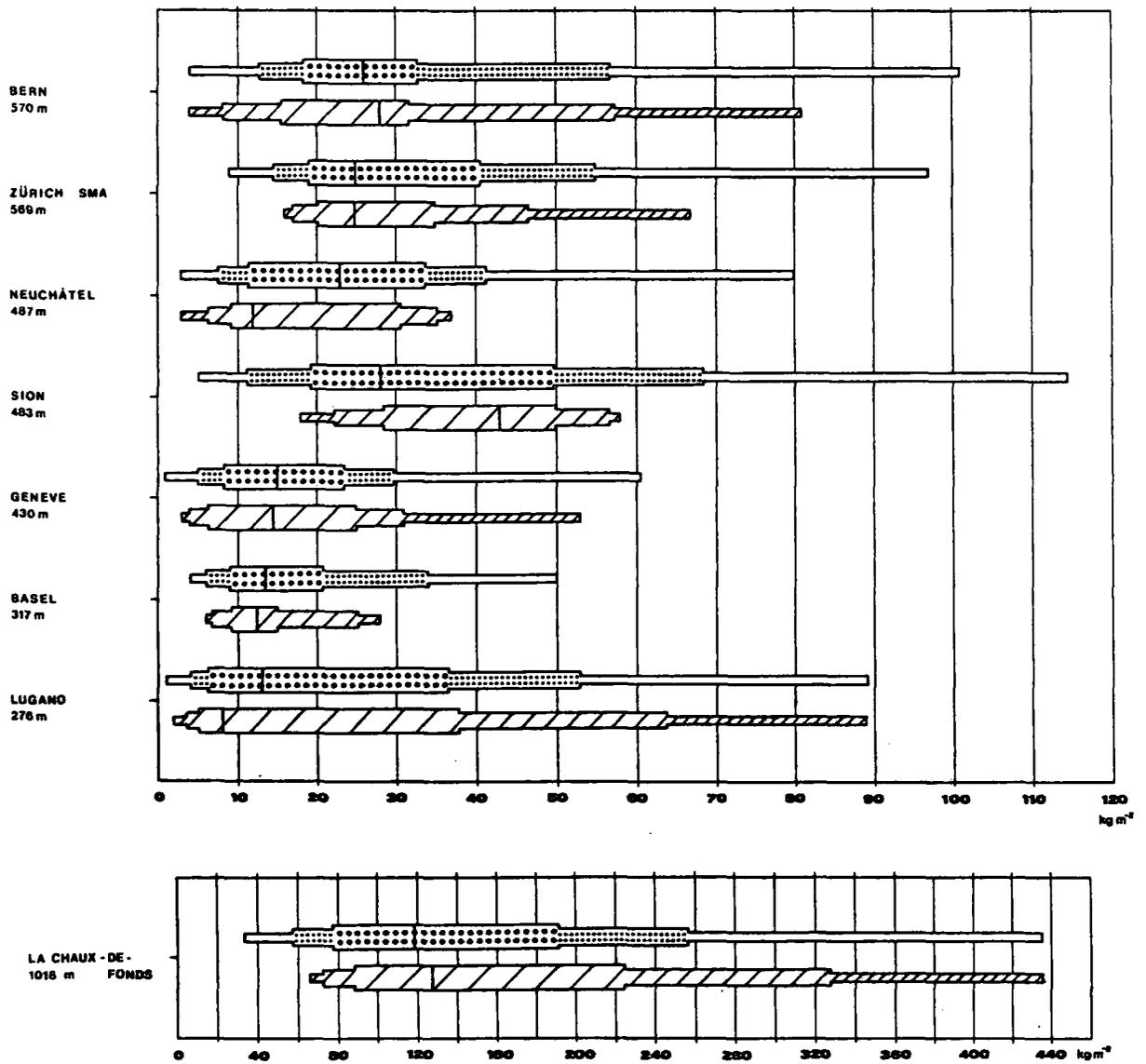


Figure 4. Hiver comportant le poids maximum



Légende:

54 ans

14 ans

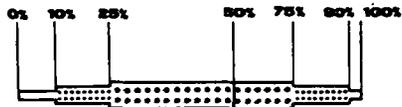


Figure 5. Répartitions fréquentielles comparées.

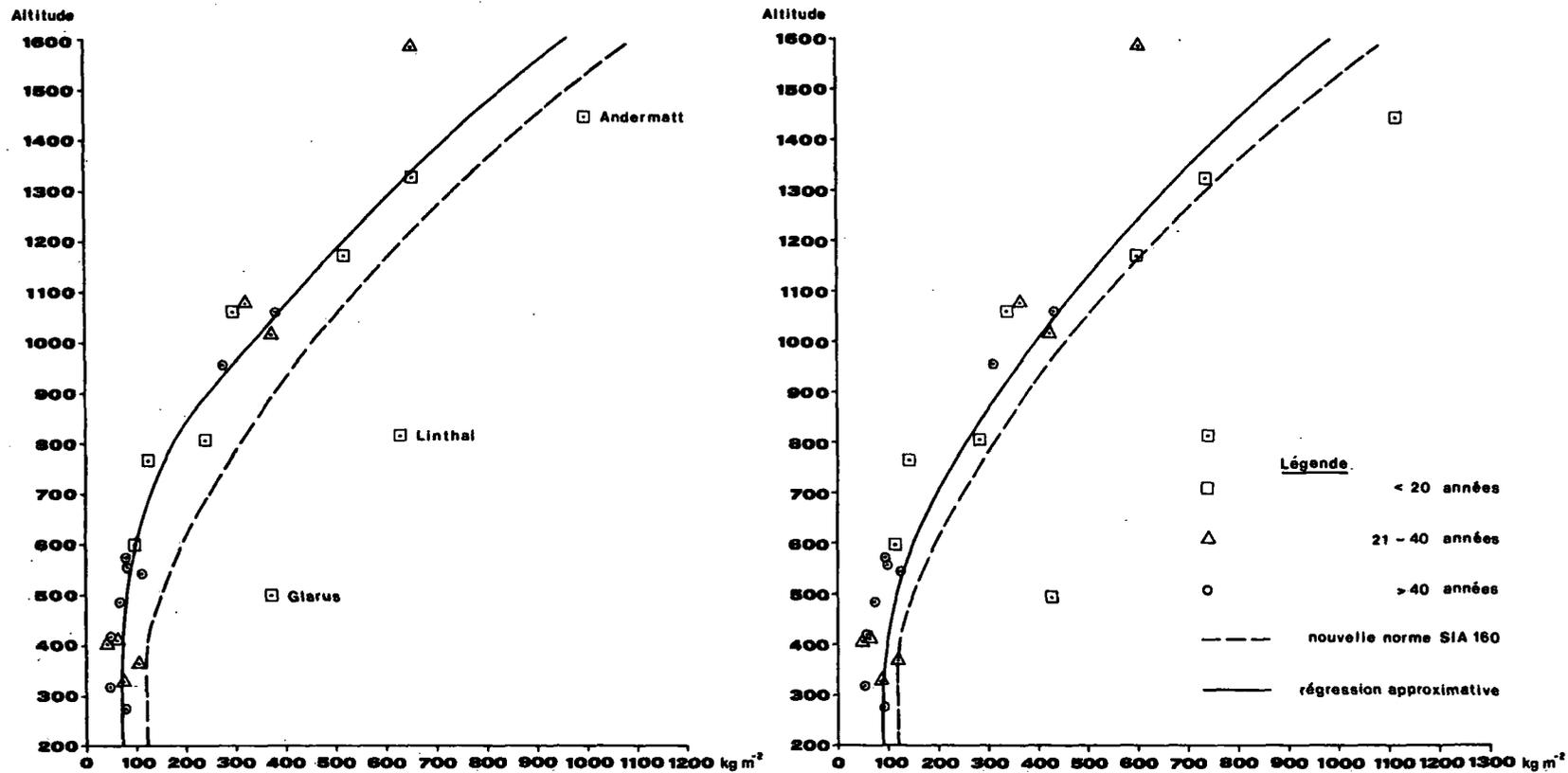


Figure 6. Valeur de retour pour 50 et 100 ans en fonction de l'altitude.

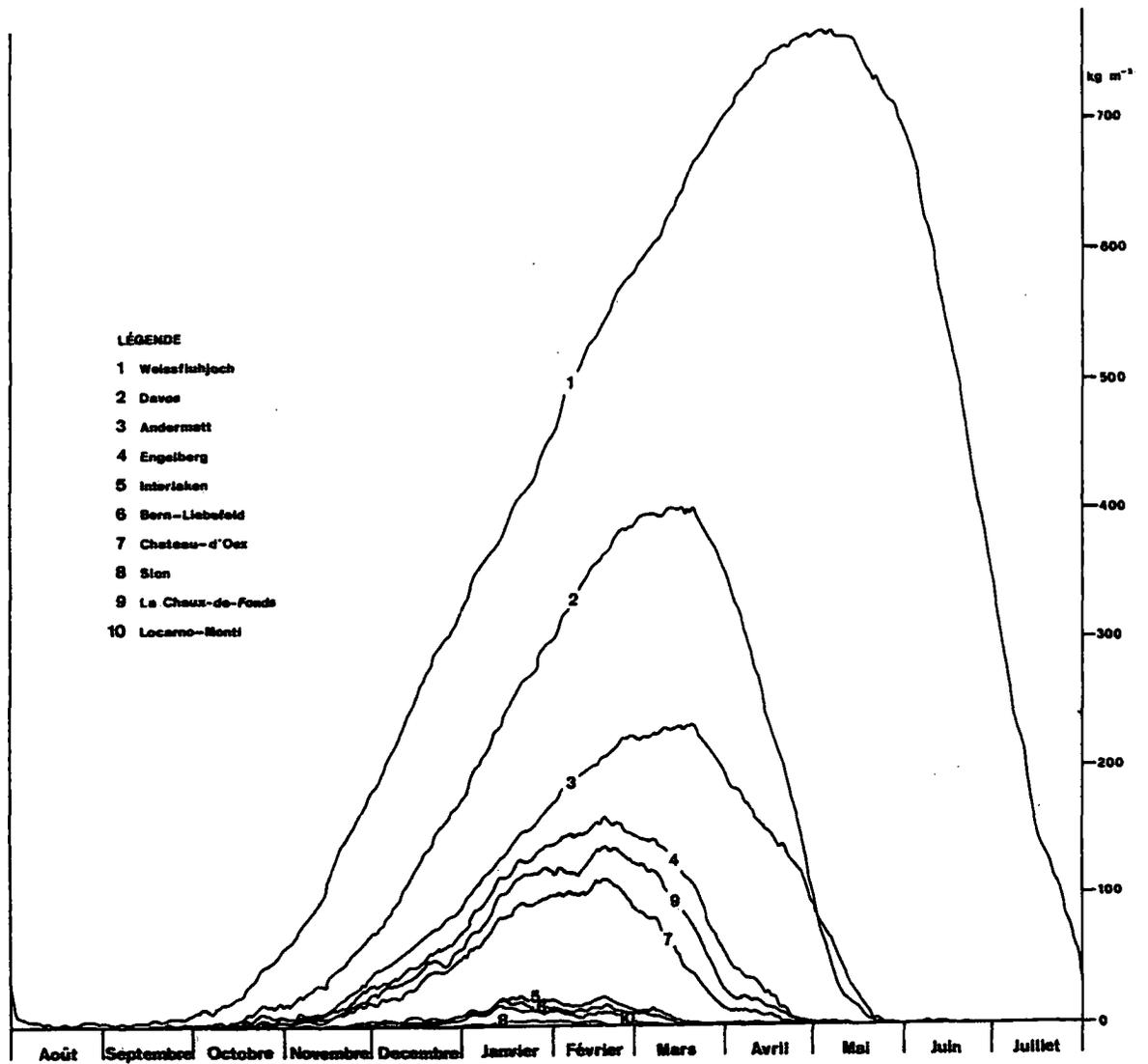


Figure 7 Courbes de valeurs journalières moyennes du poids de la neige.

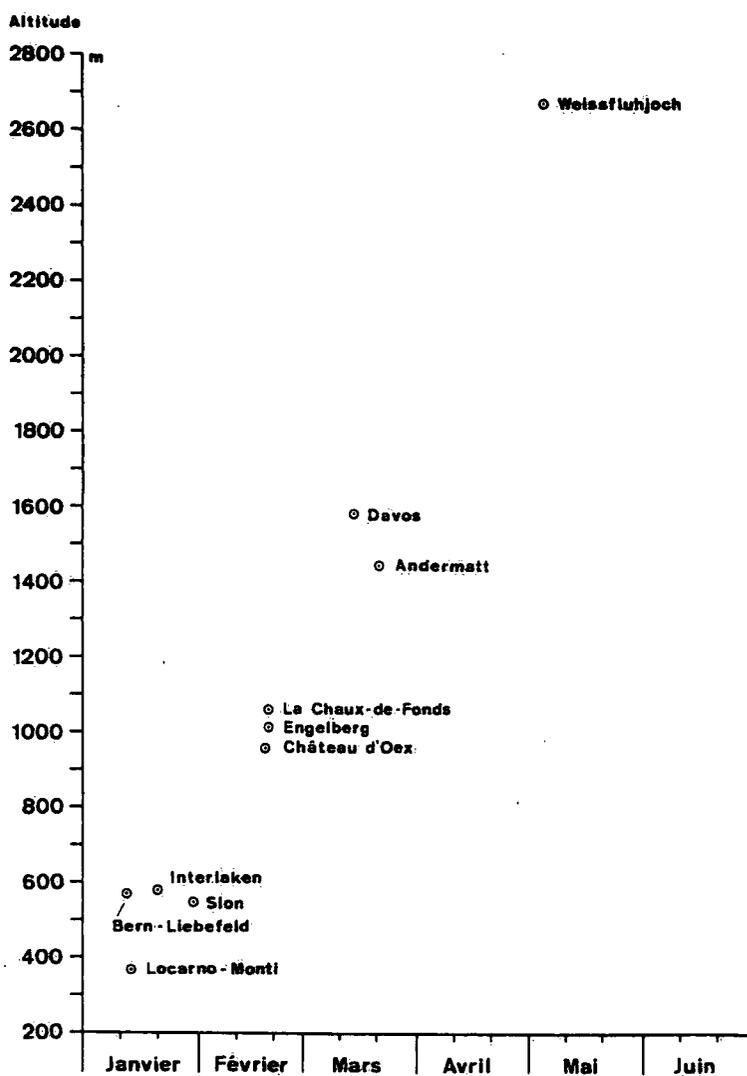


Figure 8. Date du poids moyen maximum en fonction de l'altitude.

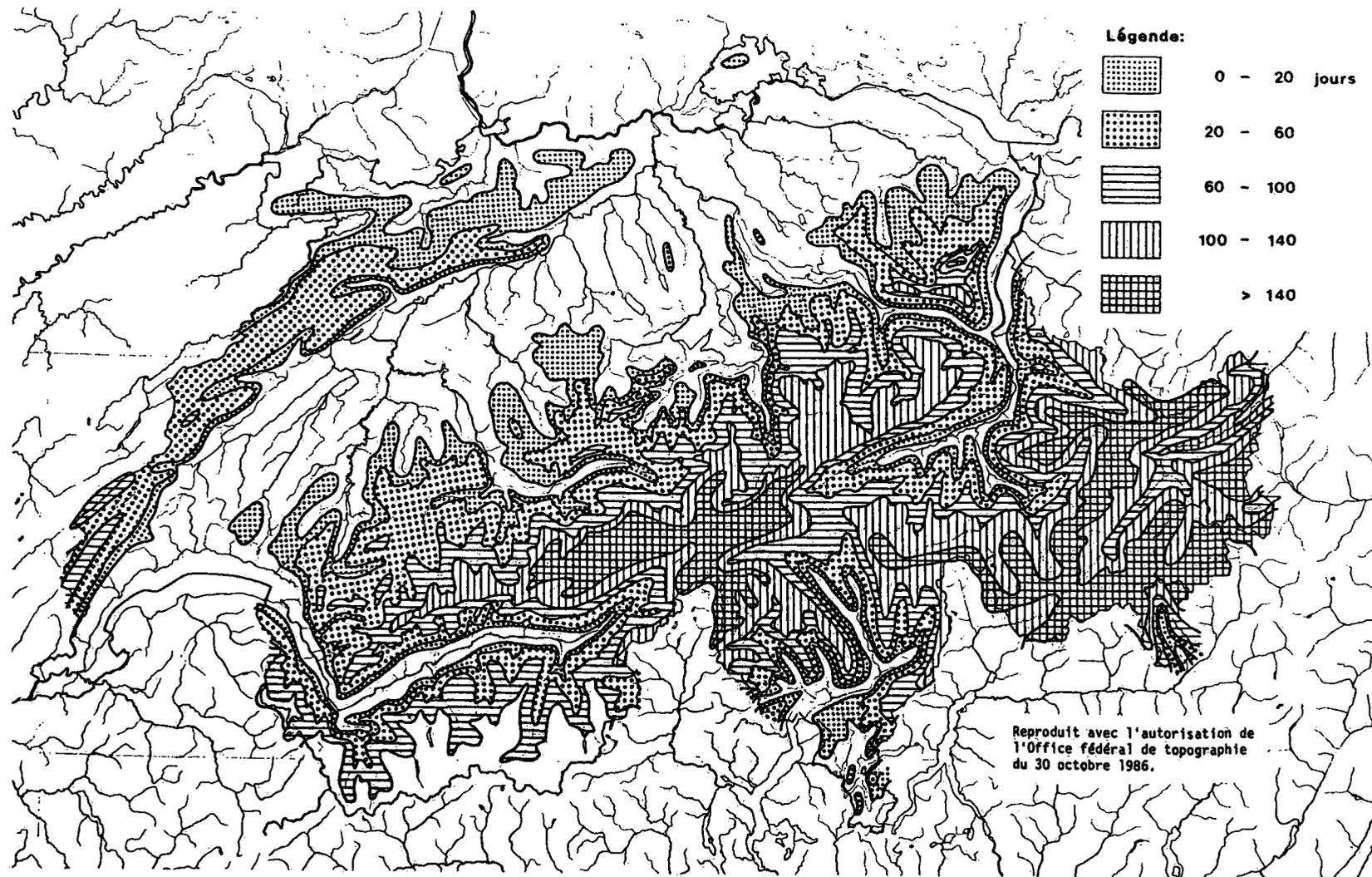


Figure 9. Nombre de jours, trois hivers sur quatre, où la couche de neige atteint ou dépasse 30 cm.

Station	30 années (1955/56 à 1984/85)		14 années (1971/72 à 1984/85)	
	Max	Min	Max	Min
Basel	50	5	28	6
Zürich SMA	73	14	67	16
Bern	85	4	81	4
Neuchâtel	47	3	37	3
Sion	108	6	58	18
Genève	53	3	53	3
La Chaux- de-Fonds	435	37	435	65
Lugano	89	0	89	2
Château d'Oex	244	14	198	49
Locarno Monti	113	2	113	2
Davos	449	165	449	165
Engelberg	383	39	263	61
Montreux	55	2	55	4

Tableau 1. Valeurs comparées des poids extrêmes d'un hiver (kg/m²) de 14 et de 30 années.

Tableau 2. Répartitions fréquentielles comparées.

Répartition fréquentielle des poids maximums calculés sur 14 ans (kg/m²)

No.	Station	altitude	Max.	90%	75%	50%	25%	10%	Min.
1. Flanc nord du Jura									
1	Delémont	416	39	32	23	17	12	5	5
2	Basel	317	28	25	15	13	9	7	6
3	Rheinfelden	271	30	24	23	18	9	5	3
4	Hallau	450	58	49	43	25	20	18	15
5	Schaffhausen	457	63	53	39	24	22	18	16
2. Jura									
1	La Brévine	1042	407	374	276	183	131	108	84
2	La Chaux-de-Fonds	1018	435	327	224	127	88	72	65
3	Chaumont	1135	343	325	281	130	94	70	63
4	Les Rangiers	856	144	96	83	63	35	22	18
5	Langenbruck	740	145	137	126	79	67	45	37
3. Moyen-Pays									
1	Genève	430	53	31	25	15	6	4	3
2	Montreux	408	55	22	17	11	7	5	4
3	Bochuz	437	45	25	21	12	8	6	3
4	Neuchâtel	487	37	35	31	12	8	6	3
5	Fribourg	634	56	40	25	19	12	11	8
6	Biel/Bienne	434	56	50	32	19	10	8	4
7	Bern	570	81	57	32	28	16	8	4
8	Oeschberg	482	62	44	28	22	15	9	6
9	Huttwil	639	100	81	62	38	29	22	17
10	Olten	413	66	45	31	21	14	12	10
11	Aarau	408	74	41	35	22	16	14	12
12	Uetliberg	810	148	124	100	72	48	39	34
13	Zürich SMA	569	67	47	35	25	20	17	16
14	Zürich Kloten	431	54	35	30	21	17	13	8
15	Rapperswil	510	58	40	33	24	17	11	9
16	Tänikon	536	71	46	40	27	25	17	14
17	Haidenhaus	694	103	81	67	57	46	33	22
4. Versant nord des Alpes									
1	Broc	680	115	78	62	38	25	21	16
2	Château d'Oex	980	198	164	151	93	68	56	49
3	Adelboden	1335	424	370	269	236	155	131	57
4	Langnau i.E.	695	103	86	78	44	31	27	14
5	Nürren	1639	647	537	403	347	313	297	204
6	Grindelwald	1040	299	221	200	184	126	106	82
7	Meiringen	632	173	114	80	62	47	41	33
8	Guttannen	1055	480	419	261	230	204	134	105
9	Grimmel	1950	1933	1546	1232	1051	955	708	552
10	Sarnen	479	66	55	36	26	16	13	13
11	Luzern	456	50	42	36	22	10	8	6
12	Engelberg	1018	263	195	161	132	93	72	61
13	Andermatt	1442	783	626	495	421	299	264	237
14	Guetsch	2288	1630	1561	1297	1112	951	707	466
15	Altdorf	451	53	46	30	26	18	13	12

No.	Station	altitude	Max.	90%	75%	50%	25%	10%	Min.
16	Schwyz	448	87	77	64	52	33	27	26
17	Einsiedeln	910	249	228	151	120	90	75	70
18	Oberiberg	1090	521	431	311	250	183	157	115
19	Linthal	810	484	395	278	206	141	128	104
20	Ebnat-Kappel	629	124	116	104	87	82	33	28
21	Säntis	2500	2471	2287	1851	1744	1457	1200	608
22	St. Gallen	669	98	80	64	51	41	28	17
23	Heiden	811	141	127	96	82	66	45	32
24	Stein AR	786	126	110	87	64	51	44	27
<u>5. Valais</u>									
1	Vernayaz	453	36	36	25	21	13	12	11
2	Sion	483	58	57	50	43	29	22	18
3	Grande Dixence	2166	638	605	580	500	315	284	201
4	Montana	1405	592	455	446	298	199	130	110
5	Grächen	1617	295	271	228	205	134	121	63
6	Saas-Almagell	1618	459	409	287	229	192	136	85
<u>5. Vallée du Rhin + nord et centre des Grisons</u>									
1	Disentis	1180	276	260	234	151	84	62	44
2	Hinterrhein	1619	752	611	570	488	366	216	173
3	Vättis	948	358	266	230	133	91	33	22
4	Chur	586	176	106	66	45	34	31	25
5	Arosa	1847	779	564	489	476	385	323	270
6	Davos	1590	449	421	339	311	234	208	165
7	Weissfluhjoch	2540	1073	1018	974	873	799	600	522
<u>7. Versant sud des Alpes</u>									
1	Simplon	1495	559	534	442	234	155	98	80
2	Bosco Gurin	1505	905	705	619	510	325	207	172
3	Locarno-Monti	379	113	94	60	26	15	10	2
4	Magadino	198	98	73	54	30	15	6	1
5	Lugano	276	89	64	38	8	5	4	2
6	Monte Bre	910	335	192	147	76	47	37	15
7	Grono	357	151	104	79	28	19	16	4
8	San Bernardino	1628	705	580	489	437	257	202	80
9	Robbia	1078	279	209	159	79	45	26	19
10	Sta Maria	1390	269	256	217	178	135	103	45
<u>8. Engadine</u>									
1	Sils Maria	1802	658	538	461	411	281	209	177
2	Samedan	1705	396	371	322	258	192	156	134
3	Buffalora	1968	543	440	397	361	280	225	192
4	Scuol	1295	530	224	190	166	118	93	49
Répartition fréquentielle des poids maximums calculés sur 54 ans (kg/m ²)									
No.	Station	altitude	Max.	90%	75%	50%	25%	10%	Min.
1.2	Basel	317	50	34	21	14	9	6	4
2.2	La Chaux-de-Fonds	1018	435	256	191	118	77	57	33
3.1	Genève	430	61	30	24	15	8	5	1
3.4	Neuchâtel	487	80	41	34	23	12	7	3
3.7	Bern	570	101	57	33	26	18	13	4
3.13	Zürich	569	97	55	41	25	19	15	9
5.2	Sion	483	114	68	50	28	19	11	5
7.5	Lugano	276	89	53	37	13	6	4	1

Station	No.	Altitude	Nombre d'hivers	Période de retour (poids en kg/m ²)			
				10 ans	20 ans	50 ans	100 ans
Davos	0460	1588	34	433	486	555	602
Delémont	1800	416	22	38	45	53	60
Basel	1940	316	51	35	40	50	57
Linthal	3100	812	13	443	520	630	740
Glarus-Netstal	3220	493	15	250	303	375	430
Zürich - SMA	3700	556	51	60	73	85	100
Andermatt	4040	1442	16	730	845	1000	1115
Engelberg	4410	1018	34	263	310	373	425
Bern	5520	570	51	57	68	83	93
Château-d'Oex	5610	956	41	198	232	275	310
La Cure	6010	1170	14	355	430	520	600
Vallorbe	6060	762	17	87	103	126	143
Les Ponts-de-Martel	6320	1060	11	202	243	298	338
Neuchâtel	6340	485	51	47	55	67	75
Affoltern i.E.	6520	802	17	165	200	247	285
Beznau	6970	327	22	52	63	77	88
Recklingen	7050	1325	17	477	552	658	738
Sion	7500	542	53	75	90	112	127
Montreux	8020	405	31	30	35	43	50
Genève Observatoire	8440	416	51	33	40	50	56
La Chaux-de-Fonds	8560	1060	50	268	320	387	433
Fahy	8640	596	14	69	82	100	115
Locarno-Monti	9400	366	39	71	85	106	122
Lugano	9480	275	51	52	64	80	92
Robbia	9670	1078	21	219	263	320	365

Tableau 3. Valeurs de retour selon Gumbel.

Tableau 4

Station	0% à 10%	11% à 20%	21% à 30%	31% à 40%	41% à 50%	51% à 60%	61% à 70%	71% à 80%	81% à 90%	91% à 100%
Disentis	184	67	36	31	30	18	13	10	10	5
Hinterrhein	92	38	31	26	24	23	21	12	4	1
Weissfluhjoch	100	29	24	28	30	27	30	28	17	6
Davos	133	40	37	39	40	31	22	18	12	4
Arosa	130	40	37	36	34	34	35	31	15	3
Chur-Ems	128	43	23	12	8	5	3	4	4	2
Schiers	113	36	21	16	12	11	8	3	1	1
Vaettis	135	60	44	25	14	12	10	5	4	3
Bad Ragaz	134	45	23	11	3	2	5	6	2	1
Altstätten	139	54	43	31	20	21	9	3	2	1
Heiden	187	99	58	39	27	17	12	9	7	2
Haidenhaus	156	74	48	33	25	15	7	3	3	1
Schaffhausen	67	48	33	20	10	9	6	2	3	1
Hallau	85	39	33	25	12	9	10	6	3	1
Rheinfelden	76	29	29	26	12	12	9	4	1	1
Les Rangiers	206	61	32	23	13	10	6	3	4	2
Delemont	134	43	28	16	15	6	2	3	1	1
Basel	75	37	15	16	13	7	11	3	5	2
Ebnat-Kappel	155	64	46	27	23	22	18	14	8	3
Säntis	86	57	31	26	28	29	26	14	5	3
Schwägalp/ Stein	194	84	49	34	28	22	13	4	3	2
Tänikon	148	53	45	34	30	15	7	8	6	3
Kloten	136	52	32	19	11	7	2	2	1	1
Tierfehd/ Linthal	124	69	49	27	19	12	6	4	4	2
Rapperwil	111	44	28	29	16	6	3	1	1	1
Zürich SMA	167	57	31	22	11	5	3	3	1	1
Oberiberg	116	66	50	29	27	17	6	6	6	2
Einsiedeln	145	69	49	35	21	20	13	11	10	3
Uetliberg	176	80	48	29	19	10	9	5	3	2
Guetsch	109	35	32	27	33	30	18	10	7	4
Andermatt	109	40	41	37	27	26	17	5	2	1
Altdorf	115	52	28	22	19	9	7	4	3	3
Schwyz	157	74	47	28	22	18	17	8	5	1
Engelberg	189	96	60	45	26	18	12	4	3	3
Sarnen	146	45	26	21	14	7	4	3	3	1
Luzern	105	52	28	23	19	16	16	13	6	1
Grimsel	94	40	35	33	29	17	10	7	3	1
Guttannen	128	60	48	40	33	12	8	10	8	3
Meiringen	162	74	38	15	7	6	4	2	5	4
Grindelwald	157	71	60	52	33	30	19	5	4	3
Mürren	131	44	41	49	53	43	21	10	10	6
Adelboden	136	57	43	36	35	27	17	10	8	2
Liebefeld/ Bern	136	45	21	9	4	4	2	3	2	1
Château d'Oex	175	77	54	36	18	12	11	9	6	4
Broc	157	60	32	17	13	5	4	3	2	1
Fribourg	155	44	28	11	3	2	2	3	3	2
Bochuz	89	29	21	13	8	2	2	1	1	1
La Brévine	136	52	40	35	18	12	14	10	8	4
Neuchâtel	92	35	27	18	13	6	6	5	7	4

Tableau 4 (suite)

Station	0% à 10%	11% à 20%	21% à 30%	31% à 40%	41% à 50%	51% à 60%	61% à 70%	71% à 80%	81% à 90%	91% à 100%
Chaumont	161	61	33	22	17	17	15	13	8	3
Biel	128	36	25	15	15	5	5	2	2	3
Langnau i.E.	157	69	39	22	19	16	12	8	3	1
Oeschberg	145	55	32	20	10	8	5	3	2	1
Huttwil	171	59	38	25	15	10	9	6	5	1
Langenbruck	142	76	57	38	23	13	12	13	13	8
Olten	107	47	24	10	5	5	3	2	1	1
Aarau	135	51	24	19	7	4	1	1	2	1
Saas Almagell	105	46	39	42	32	13	9	7	8	3
Grächen	90	39	36	40	33	25	29	22	7	2
Montana	106	38	33	32	28	22	21	13	3	2
Grand Dixence	94	40	49	44	32	24	22	27	24	9
Vernayaz	74	44	25	12	13	9	7	3	3	4
Montreux	70	21	10	3	3	1	1	1	2	2
Genève	85	27	13	9	7	2	1	1	2	2
San Bernardino	82	41	42	37	30	23	18	12	4	1
Grono	93	22	13	13	11	8	4	3	1	1
Bosco Gurin	71	33	38	34	27	23	13	5	3	1
Locarno	81	24	18	8	10	8	7	5	2	1
Monte Brè	121	32	12	12	9	4	4	2	2	1
Lugano	38	11	9	9	10	7	2	2	1	1
Simplon	143	58	40	21	16	14	13	10	9	6
Robbia	120	35	23	14	11	7	6	3	3	2
Sils Maria	100	36	36	32	29	26	20	15	9	1
Buffalora	119	30	32	31	27	29	24	9	3	1
Scuol	129	37	30	16	6	1	1	1	1	1
Sta. Maria	92	42	33	39	37	28	20	15	13	7

Tableau 4. Nombre de fois où il y a eu, en 14 ans, changement de classe de 10% du poids maximum.

