Zeitschrift: Mémoires de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 12 (1958-1961)
Heft: 7

Artikel: Le vent en Valais (Suisse)
Autor: Bouet, Max
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-257916

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: 17.07.2025

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

Mémoires de la Société vaudoise des Sciences naturelles
N° 79 1961 Vol. 12, Fasc. 7

Le vent en Valais (Suisse)[1]

PAR

MAX BOUET

Omnia ventorum concurrere proelia vidi
(Virgile, Géorgiques)

RÉSUMÉ. — Etude systématique des vents et des brises à Sierre (500 m) et à Montana (1500 m) à partir d'enregistrements anémométriques portant sur une période de six ans. La fréquence et la vitesse des vents en général, des brises de beau temps, du foehn en plaine et de la lombarde en montagne font l'objet d'un examen détaillé mettant en relief leurs variations diurnes et saisonnières. Le régime venteux d'autres régions du Valais est esquissé dans ses grandes lignes. Le rythme alterné des brises normales repose sur la variation périodique de la pression et de son gradient horizontal entre la vallée et l'extérieur. Des tableaux numériques fixent les ordres de grandeur des phénomènes exposés.

La descente du foehn dans la vallée du Rhône dépend de la vitesse du vent en altitude et du gradient vertical de température.

INTRODUCTION

1. GÉNÉRALITÉS.

Lorsqu'il parcourt la longue vallée du Rhône valaisan aux riches coloris et qu'il gagne les derniers alpages proches des glaciers, le voyageur sensible au jeu des nuages et des courants perçoit le changement, voit le mouvement et s'interroge sur l'ordre auquel ils obéissent.

A sentir si vivante la nature de cette admirable contrée, j'avais depuis longtemps souhaité explorer son climat, suivre ses vents auxquels un relief profondément buriné impose leurs chemins. Les moyens étaient pauvres, et la diversité révélée par une première approche réclamait des moyens plus précis d'investigation.

Or la Société Anonyme pour l'Industrie de l'Aluminium (AIAG) dont l'usine de Chippis se trouve au cœur même du pays valaisan décida d'installer en 1953 en cet endroit une station météorologique complète, munie entre autres d'un anémographe; elle chargea

[1] La publication de cette étude fut possible grâce à l'appui très obligeant du Fonds J. de Giacomi de la Société helvétique des Sciences naturelles.

un technicien de contrôler les instruments et les lectures ce qui fut fait avec beaucoup de soin.

Dès lors devenait possible l'étude systématique des vents régionaux dont le régime était connu dans ses grandes lignes mais dont le détail restait à préciser. C'est à analyser le régime venteux du Valais central que s'applique la présente étude qui put se compléter des observations que je fis de 1947 à 1958 à Montana, à 1500 m d'altitude, sur le versant adret des Alpes bernoises. A l'examen du climat éolien de Sierre (Chippis) et de Montana s'ajoute l'esquisse sommaire des conditions régnant dans d'autres parties du Valais, dans la mesure où des renseignements sûrs le permettaient et où des extrapolations prudentes paraissaient permises.

Une liste complète des travaux consacrés à des recherches préliminaires en Valais se trouve à la fin du fascicule. Ceux qui désireraient approfondir quelque point de détail pourront s'y référer. L'essentiel toutefois a été reproduit dans la présente monographie.

Certains termes ou expressions utilisés ci-après sont pris dans les acceptions suivantes :

Brise : vent faible à modéré, de caractère local ou régional et à allure périodique.

Vent (brise) d'aval : vent remontant la vallée ou vent de vallée.

Vent (brise) d'amont : vent descendant la vallée ou vent de montagne.

Vent catabatique : vent froid descendant un versant sous l'effet du gradient général de pression.

Renverse : changement de direction de la brise qui tourne de 180 degrés.

Jour normal : journée présentant l'alternance typique des brises de vallée et de montagne par temps serein ou peu nuageux.

Gradient transalpin : différence de pression entre le Sud et le Nord des Alpes, réduite à un niveau commun.

2. Le cadre géographique.

Le Valais est formé, géographiquement parlant, de la vallée du Rhône dès sa source à son embouchure dans le lac Léman. Sur leur plus grande étendue ses limites politiques coïncident avec celles du bassin rhodanien supérieur. La vallée principale est orientée de l'Ouest-Sud-Ouest à l'Est-Nord-Est entre la source du Rhône et Martigny; en ce dernier point, le fleuve tourne à angle droit et se dirige vers le Nord-Nord-Ouest jusqu'au lac. On ne m'en voudra pas, je l'espère, d'annexer le district vaudois d'Aigle au Valais, cela pour simplifier l'exposé. Le tracé des frontières cantonales n'a pas respecté entre Saint-Maurice et l'embouchure du Rhône l'unité géographique de la grande vallée.

Les vallées latérales de la rive gauche creusées dans les Alpes valaisannes ou Pennines sont deux à trois fois plus longues que celles de la rive droite qui entaillent la chaîne des Alpes bernoises.

Le profond sillon rhodanien est bordé de part et d'autre de hautes chaînes : les Pennines au Sud ont une altitude moyenne de 3200 m entre le col de Balme et celui de la Furka (3400 m entre le Grand Saint-Bernard et le Simplon) ; les Alpes bernoises au Nord s'élèvent, en moyenne aussi, à 3100 m entre les Dents de Morcles et la Furka. Les premières culminent au Mont-Rose (Pte Dufour 4634 m), les secondes au Finsteraarhorn à 4274 m.

La partie inférieure de la vallée, entre Martigny et le Léman, est non seulement plus large en aval de Saint-Maurice, mais est comprise entre deux talus montagneux passablement plus bas que les précédents : du col de Balme au Grammont (rive gauche) l'altitude moyenne n'est que de 2360 m, et de l'Oldenhorn aux Rochers de Naye (rive droite), de 2160 m.

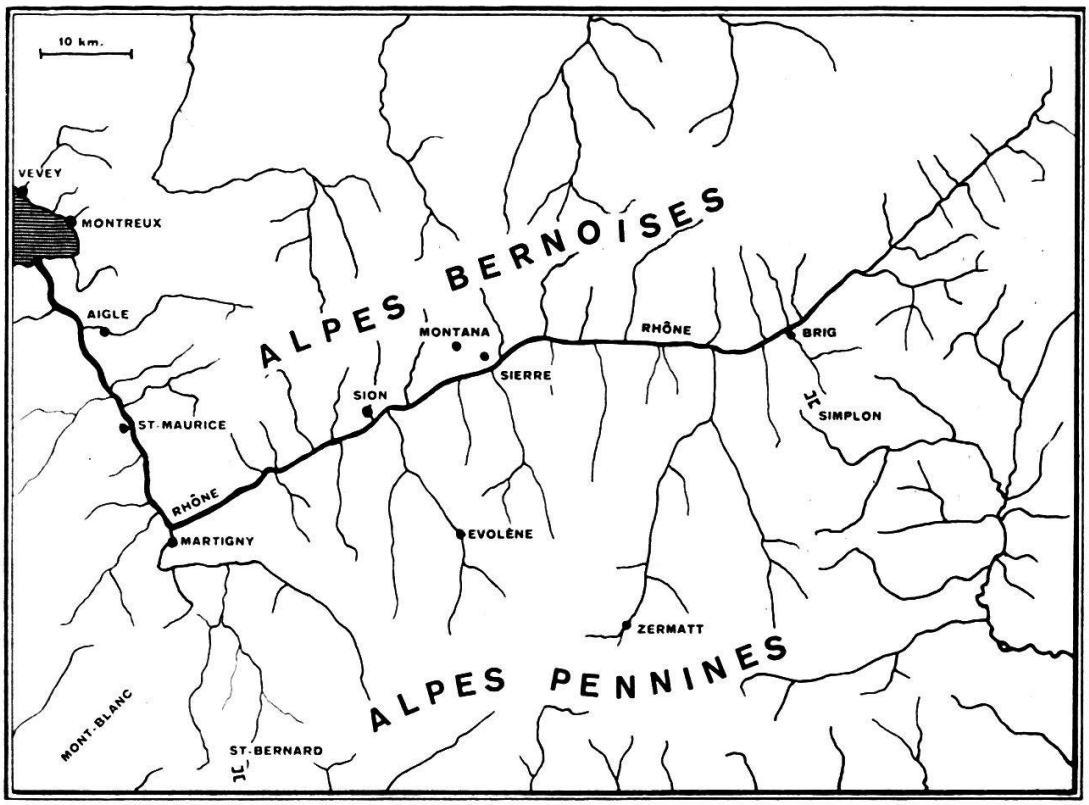

FIG. 1. — Croquis de situation. La vallée du Rhône, de la source du fleuve au lac Léman.

La vallée elle-même, en forme de V ou de U de Gletsch à Brigue, présente depuis cette localité située à 670 m un fond plus ou moins plat, de 1 à 3 km de large, qui à partir de Saint-Maurice s'élargit en une plaine alluviale de 4 à 6 km de largeur. Le lac Léman est à l'altitude de 372 m (30).

Le relief si prononcé du Valais a de profondes répercussions sur son climat dans son ensemble et sur le régime des vents en particulier. Ce dernier dépend dans une très large mesure de la longueur des vallées, de leur orientation, de l'exposition des versants, de la hauteur des crêtes dominant ces creux et pentes.

Si le régime des brises alternées est en gros le même dans le Valais central (Sierre et Sion) et dans le Bas-Valais (St-Maurice, Monthey, Aigle), il faut soigneusement distinguer les deux régions en ce qui concerne le fœhn; en effet ce vent qui souffle d'amont en aval présente ici deux branches distinctes, celle qui va de Brigue à Sion et celle qui s'étend de Vernayaz au Léman.

Enfin la fréquence du brouillard et du stratus bas n'est pas la même en amont de Martigny et en aval de Saint-Maurice. La cluse de Vernayaz à Saint-Maurice, étroite d'un kilomètre à peine à sa base et de 3 km à 1000 m d'altitude, joue le rôle de limite climatique extrêmement tranchée; elle est le seuil précis en amont duquel le climat du Valais s'affirme nettement; elle est aussi le passage du pays ouvert du Plateau suisse au pays fermé, unité géographique et climatique, qu'est le Valais proprement dit, enserré entre les Hautes Alpes calcaires du Nord et la puissante chaîne cristalline des Pennines du Sud.

Il y a 125 km de Gletsch près de la source du Rhône (1760 m) à Martigny (460 m), 35 km de cette bourgade au Léman (372 m).

3. Les deux stations de base.

La *station météorologique de Chippis,* près de Sierre, surveillée et contrôlée avec beaucoup de soin par un technicien, est située à proximité des établissements de l'AIAG, sur la rive droite du Rhône, dans l'axe médian de la vallée à l'altitude de 522,4 m. Le thermomètre, l'hygromètre et le thermohygrographe sont placés sous abri anglais exposé au soleil. Les bâtiments industriels ne gênent pas sa ventilation et n'apportent aucun trouble dans les enregistrements de température. L'équipage mobile de l'anémographe Fuess se trouve à environ 15 m au-dessus du sol, sur une tour de béton; le réglage en direction a été effectué à plusieurs reprises sur le Nord vrai.

Si la station est parfaitement dégagée vers l'aval, elle est dominée à l'amont, mais à 700 m de distance, par la colline de Géronde en face de Sierre qui s'élève à 587 m. La présence de cet obstacle naturel d'environ 65 m de hauteur a probablement une certaine influence sur la direction enregistrée du vent; elle explique peut-être la direction Nord-Est le plus souvent observée de nuit et par fœhn, direction qui, vu l'orientation de la vallée, devrait être plutôt l'Est-Nord-Est. Mais cet effet, s'il est réel, ne joue qu'un

rôle minime. Dans l'ensemble, les enregistrements anémométriques de Chippis sont bien représentatifs des conditions régnant dans le talweg de la vallée du Rhône au droit de Sierre.

Le fond de la vallée est large ici d'environ 1500 m. Le versant de la rive droite (adret) a entre Sierre et Montana une pente moyenne de 24 %, et entre Sierre et Bella-Lui (2548 m) de 29 %. Du côté gauche (ubac) s'ouvre la vallée d'Anniviers parcourue par la Navizance; le poste météorologique se trouve à un kilomètre en aval de son débouché.

Dans tout ce qui suit, je désigne par Sierre la station de base de Chippis, les deux localités pouvant être confondues du point de vue météorologique.

La *station météorologique de Montana-Vermala* (réseau synoptique) se trouvait à l'altitude de 1509,4 m (baromètre) sur le replat tourbeux occupé par les petits lacs d'Y-Coor et Grenon. L'emplacement du poste provisoire n'était pas très favorable à l'observation correcte des brises de versant à cause du replat lui-même et de la trop grande proximité de la forêt, côté montagne. Des observations de vent faites à l'occasion en d'autres points de la localité m'ont cependant permis une appréciation meilleure et suffisante des brises locales. Les lectures de température, de pression, etc. furent faites aux heures prescrites très exactement, soit toutes les trois heures de 6 h. 30 à 21 h. 30 (H. E. C.). La station possédait un thermographe, un barographe, mais pas d'anémographe; la vitesse du vent était donnée par un anémomètre à transmission électrique placé à environ 10 m au-dessus du sol.

J'ai utilisé dans ce qui suit la collection d'anémogrammes de Chippis dépouillés heure par heure pendant six ans (1953-1959), puis les enregistrements de pression et de température pour l'étude des situations particulières. A Montana les observations de vent faites six fois par jour ont permis une comparaison utile des brises de versant avec celles de la vallée; les lectures de pression et de température furent également mises à contribution, bien entendu. Le « journal de bord » avec ses notes quotidiennes concernant l'état du ciel, les hydrométéores, etc. servit de contrôle indispensable à l'étude statistique différenciée des enregistrements et à l'analyse des types de temps.

Les principaux résultats numériques ont fait l'objet de tableaux placés en appendice et auxquels renvoie le texte courant; certains d'entre eux sont illustrés par des figures [2].

[2] J'exprime ma vive gratitude à Madame M. Rey à Montana qui a bien voulu se charger du calcul fastidieux de quelques tableaux de fréquences. L'AIAG qui a installé le poste météorologique sur son domaine m'a confié le dépouillement des anémogrammes et a mis tout le matériel d'observations à ma disposition ce dont je lui suis très obligé. Ma sœur, Mme P. Vallette, a assuré pendant cinq ans le fonctionnement d'un thermographe à Evolène, ce pourquoi je la remercie sincèrement une fois encore.

Les deux postes de Sierre (Chippis) et de Montana étaient horizontalement distants de 5 km seulement et les renseignements qu'ils ont fournis correspondent aux conditions respectives du talweg rhodanien et de son versant adret dans la partie centrale du canton du Valais.

C'est à l'étude météorologique, éolienne avant tout, de la « Noble Contrée » ainsi que d'autres régions du Valais dont certains traits climatiques sont connus que sont consacrées les lignes qui suivent. Puissent-elles donner de ce pays dont la splendeur m'a séduit pendant plus de douze ans une image fidèle en ce qui concerne le jeu varié de ses vents. La météorologie des plaines et des mers offre maint sujet d'admiration et de réflexion; celle de la montagne où s'impose naturellement la troisième dimension me paraît plus riche encore, plus subtile aussi dans la complexité de ses manifestations.

A qui sait découvrir la vie d'un paysage en associant relief, végétation, vents et nuages en une harmonieuse synthèse apparaît l'ordre profond et, ce qui est mieux, l'ordre dans la beauté.

PREMIERE PARTIE : LE VENT A SIERRE

I. Le vent en général.

1. Généralités.

L'examen des anémogrammes de Chippis révèle d'emblée cinq faits fondamentaux du régime éolien de l'endroit :

1) La prédominance presque complète des vents dirigés selon l'axe de la vallée, dans un sens ou dans l'autre; les vents de travers sont exceptionnels (figure 2).

2) L'alternance quasi quotidienne des brises d'aval et d'amont selon un rythme nycthéméral propre à la plupart des vallées alpines; les changements de temps l'effacent momentanément.

3) La forte variation diurne de la vitesse qui croît de jour et faiblit la nuit, cela dans presque toutes les situations.

4) L'apparition irrégulière d'un vent d'aval de longue durée, lié aux périodes troublées (vent d'aval dominant).

5) L'apparition encore plus irrégulière d'un vent d'amont, le plus fort de tous, qui n'est autre que le foehn.

Avant d'entrer dans le détail de ces particularités, il convient de considérer le vent dans son ensemble, ses directions usuelles, sa vitesse moyenne, sans tenir compte de la situation météorologique. Après quoi il sera opportun de différencier en sélectionnant les jours selon certains types de temps. La période de six ans de juin 1953 à mai 1959 a servi de base à l'établissement des tableaux 1 à 3.

2. Direction.

Les directions du vent dans la rose de 16 rumbs se distribuent en gros de la même façon tout au long de l'année moyenne : leur fréquence présente un maximum pour les directions de Nord-Est et de Est-Nord-Est (vent d'amont) et un second maximum pour celles de Sud-Sud-Ouest à Ouest (vent d'aval); les autres directions ne sont que faiblement représentées et ne jouent qu'un rôle insignifiant (tableau 1).

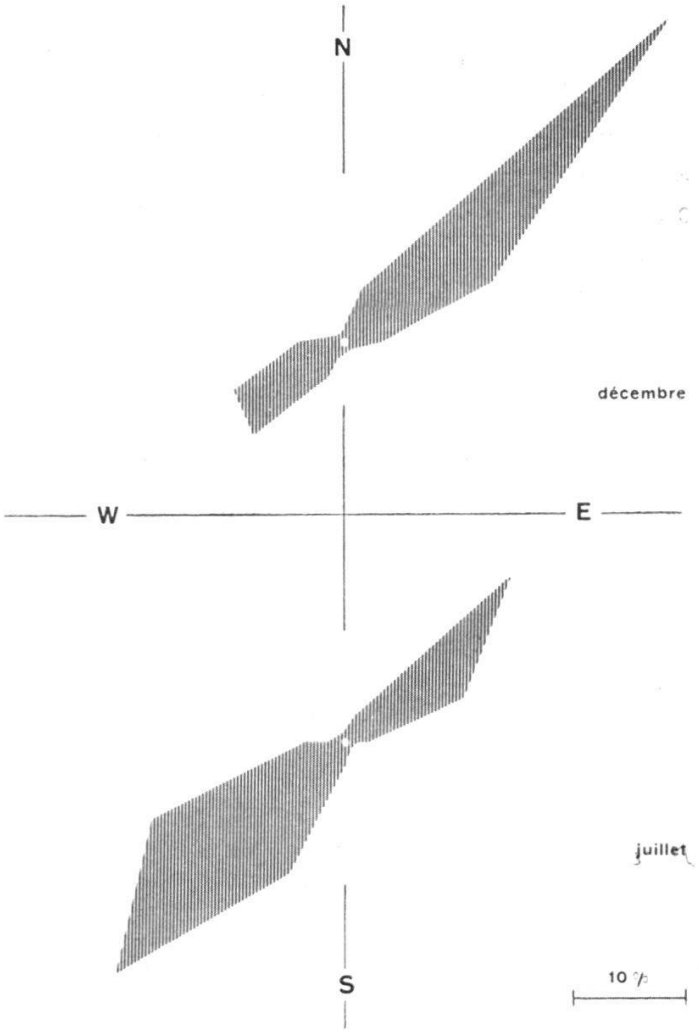

Fig. 2. — Sierre. Rose de fréquence des vents en décembre et en juillet. L'effet directeur de la vallée apparaît clairement (cf. tableau 1).

Le *vent d'amont* est relativement plus fréquent en hiver où le NE représente le 35 à 40 % de tous les azimuts; il diminue d'importance en été tout en restant constamment présent; le NE a alors une fréquence de 20 % environ.

Le *vent d'aval*, peu développé en hiver (10 à 15 % pour le SW), prend en été le premier rang avec 25 à 30 % pour le SW. On aperçoit déjà la répartition très simple en courants opposés prin-

cipaux : le vent de montagne ou descendant et le vent de vallée ou remontant qui caractérisent le régime valaisan.

La direction principale pour le vent d'amont est le Nord-Est ce qui peut surprendre puisque la vallée est orientée WSW-ENE à Sierre; on s'attendrait donc que l'azimut ENE fût le plus souvent observé. En fait les anémogrammes de temps clair à brise nocturne d'amont indiquent une direction imprécise, variant continuellement de NNE à ENE, mais avec dominance du NE. Par foehn la direction est en général NE franc, parfois ENE. Il est possible que la colline de Géronde située en amont provoque une légère déformation des filets d'air. Un réglage défectueux de l'instrument doit être en tout cas exclu. Cette déviation d'une vingtaine de degrés de l'azimut amont dominant n'a du reste aucune importance et ne modifie en rien l'allure générale des courants.

La direction principale de l'aval est le Sud-Ouest, et la même remarque peut être faite à ce sujet : la direction WSW devrait, semble-t-il, l'emporter sur les autres; en décembre et en janvier elle est d'ailleurs aussi fréquente que celle du SW. Voici ce que fait ressortir l'examen des anémogrammes quotidiens. L'WSW s'observe lors du mauvais temps et, pour les brises normales de beau temps, au moment de leur maximum de l'après-midi; le SSW se note de préférence au début de la matinée et en fin de journée. A part cela le SW apparaît le plus souvent. Il est probable que cette déviation par rapport à l'axe de la vallée est due à la composante ascendante du versant adret par laquelle une partie de l'air du talweg gagne le versant ensoleillé et le remonte obliquement, conformément au schéma de Wagner (9).

Puisque pratiquement le vent souffle à Sierre soit en remontant la vallée, soit en la descendant, il est logique et commode de grouper toutes les directions observées dans ces deux catégories, réserve faite des calmes définis par une vitesse égale ou inférieure à 1 km/h; les vents de travers, très rares, font seuls exception et seront examinés plus loin; ils figurent ici dans le groupe aval.

Je classe donc les azimuts S à NNW sous la dénomination vent d'aval, et ceux de N à SSE sous celle de vent d'amont et j'en donne les fréquences moyennes d'apparition dans le tableau 2 et la figure 3, en fonction du moment de la journée, c'est-à-dire de deux en deux heures et pour chaque mois séparément. Ces documents font ressortir avec une extrême netteté une variation diurne et une variation annuelle.

La *variation diurne* se traduit par une prédominance marquée du vent d'aval pendant le jour et du vent d'amont pendant la nuit; le premier représente en hiver, entre 14 et 16 h, le 60 à 70 % du vent en général, en été entre 10 et 20 h le 90 % env., en automne

entre 12 et 18 h le 90 % également; le second représente en hiver le 70 % et en été le 60 % env., cela de 0 à 10 h et de 0 à 8 h respectivement. Les calmes sont rares puisqu'ils ne se montent qu'à 2 à 4 % en moyenne en chaque mois de l'année.

La *variation annuelle* s'inscrit par l'importance régulièrement croissante de l'aval en allant de l'hiver à l'été, l'amont restant beaucoup moins variable d'une saison à l'autre.

Considérons par exemple l'intervalle de 14 à 16 h : en décembre l'aval n'y figure que pour 60 %, en mars pour 85 %, en juillet pour 95 % de même qu'en octobre.

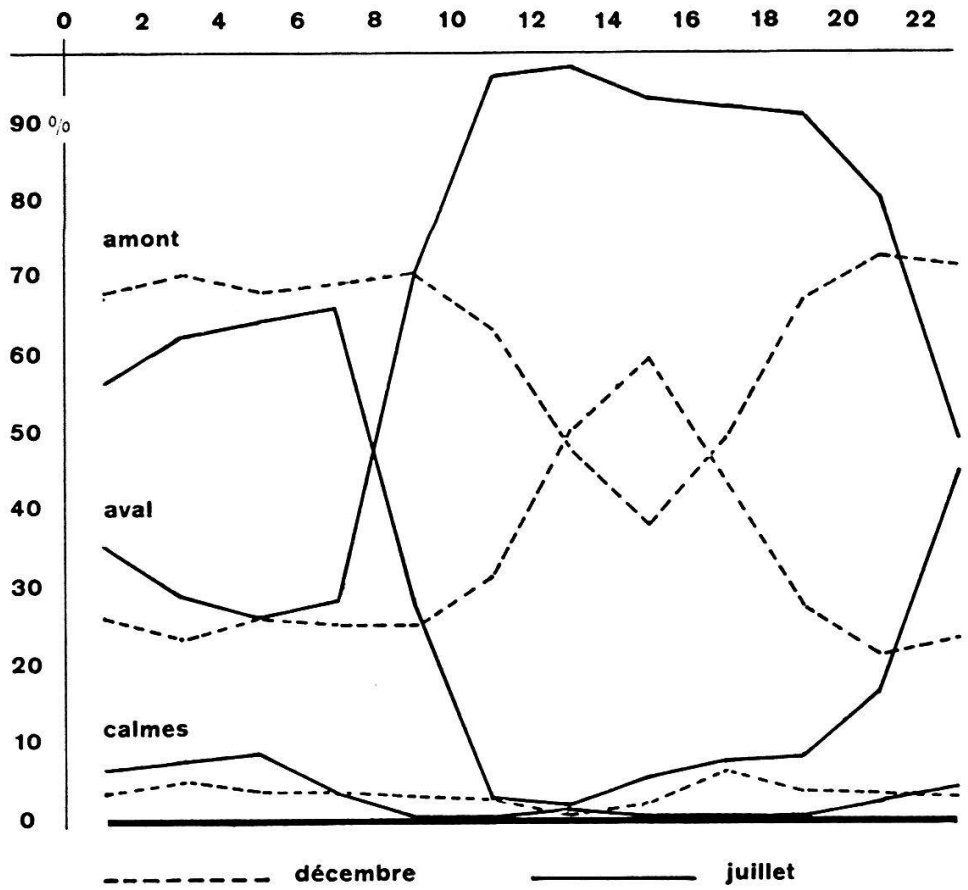

FIG. 3. — Sierre. Fréquence du vent d'aval, d'amont et des calmes en pour cent, de deux en deux heures ; mois de décembre et de juillet (tableau 2).

La marche annuelle, telle qu'elle ressort des tableaux 1 et 2 et de la figure 3 (valeurs non retouchées), présente de petites irrégularités d'un mois à l'autre dues surtout à l'incidence du foehn.

3. VITESSE.

Les vitesses moyennes données d'heure en heure et pour chaque mois dans le tableau 3 ont été légèrement adoucies par l'application d'une moyenne mobile.

Là aussi les variations diurnes et annuelles sont fortement accusées. On remarquera le maximum diurne présent toute l'année, vers 15 h d'octobre à février, vers 16 h de mars à septembre. L'amplitude, minimum en décembre et en janvier, est maximum en avril. La vitesse moyenne atteint 7 km/h au plus en décembre, 20 km/h au plus en avril et reste au-dessous de ce maximum en été.

Là aussi le foehn intervient pour accroître la vitesse moyenne au printemps, en avril et en mai surtout, ce qui fait qu'elle reste légèrement inférieure en été lorsque le foehn se fait rare. Il faudrait l'éliminer du calcul des moyennes générales pour faire apparaître la régularité plus parfaite de la circulation « normale » des jours ensoleillés; c'est ce que montrera plus loin le paragraphe consacré aux brises de beau temps.

Le tableau 6 donne la liste des *maxima de vent* en mètres par seconde; figurent dans cette liste les maxima moyens horaires d'une part (trois premières lignes) et les maxima instantanés ou absolus (trois dernières lignes) d'autre part, pour tous les vents et deux catégories particulières, les brises normales et le foehn. Il est très remarquable que les maxima horaires aussi bien que les maxima absolus (rafales) relèvent tous du foehn ce qui signifie qu'*à Sierre le foehn est le vent le plus fort* qui l'emporte largement sur le vent d'aval de mauvais temps.

Les vitesses les plus élevées s'observent donc lors des périodes de foehn, c'est-à-dire au printemps et en hiver. Le maximum maximorum noté au cours des six ans étudiés fut celui du 9 décembre 1954 au cours d'une tempête de foehn : quelques rafales atteignirent alors 28 m/sec. Le vent, ce même jour, souffla à Montana avec violence avec un maximum du même ordre de grandeur.

4. Quote-part de l'aval.

Pour déterminer lequel des deux courants remontant et descendant de la vallée du Rhône l'emporte en définitive en ce qui concerne le transport de masse, il suffit de sommer les vitesses horaires du vent d'aval, puis celles de tous les vents (parcours de vent) et de calculer le rapport des deux sommes. Celui-ci figure au tableau 9 pour chaque mois, *a*) pour tous les jours, et *b*) pour les jours sereins seulement dont il est question plus loin. Pour le vent en général, le rapport passe de 0,5 en hiver à 0,8 en juillet.

L'interprétation est simple : en plein hiver les courants d'aval et d'amont s'équivalent à peu près et transportent dans l'ensemble des masses d'air égales dans les deux sens; dès la fin de janvier l'aval excède l'amont en moyenne et ne cesse de l'emporter sur lui jusqu'au début de décembre. *En mai et en août, l'aval*

est trois fois, en juin et en juillet quatre fois plus important que l'amont, de sorte qu'à cette époque de l'année le bilan venteux boucle par un apport très important d'air de l'extérieur du massif alpin vers l'intérieur. Sur l'ensemble de l'année, le vent remontant qui est donc de NNW à Saint-Maurice et de WSW à Sion et à Sierre représente plus des deux tiers (67 %) du vent en général en ce qui concerne le transport de masse (facteur vitesse), et le 54 % pour la durée (facteur temps); c'est ce qu'enseignent les tableaux 2 et 9.

Au vu de ces chiffres, on comprend qu'un grand nombre d'arbres de la grande vallée subissent de la part du vent d'aval une contrainte mécanique telle qu'il s'ensuit une déformation permanente de leur couronne qui se voit déjetée vers l'amont, cela aussi bien dans le Bas-Valais que dans le centre du canton. Ce même vent provoque une puissante ventilation dans la vallée pendant les deux tiers de l'année; en plein hiver le renouvellement de l'air est fortement ralenti, même parfois nul lors des périodes de calme anticyclonique.

II. Les brises normales de beau temps.

1. Généralités.

Après avoir d'emblée souligné combien souvent l'alternance périodique des vents d'aval et d'amont s'inscrit sur les anémogrammes sierrois, je vais maintenant considérer les *jours de temps clair*, exempts de perturbations (fronts, grains ou orages) pour lesquels le régime des brises régionales se développe avec une extrême régularité, elle-même soumise au rythme saisonnier.

Le choix de ces jours s'est fait à la fois sur la base de l'insolation et sur l'aspect même, très caractéristique, de l'anémogramme. Ce document se présente comme suit : brise d'amont, faible et régulière, pendant la nuit, puis brise d'aval dès le début de la matinée, fraîchissant lentement, atteignant son maximum au milieu de l'après-midi et cessant dans la soirée. Il s'agit donc du rythme nycthéméral typique des brises alternées de temps serein, sorte de respiration de la montagne appelant l'air à elle pendant le jour et le laissant s'écouler à ses pieds pendant la nuit.

Ces jours dits « normaux » furent examinés et traités à part : il fallut établir les vitesses horaires moyennes, les maxima diurnes, les époques de la renverse et la quote-part de l'aval. Le tableau 11 indique le nombre, relativement grand, des jours normaux ainsi que celui des jours quasi normaux, c'est-à-dire de ceux où le régime alterné des brises de beau temps est légèrement troublé par des orages locaux, de petites surventes de courte durée ou de simples irrégularités de vitesse; ces derniers ne sont pas considérés dans

ce qui suit. Mais il faut souligner que pendant 150 jours par an au moins la circulation de l'air dans la vallée du Rhône obéit au rythme alterné fondamental.

2. Direction.

Aucune statistique n'est ici nécessaire puisque, sans exception, se répète au cours de 24 heures la succession : amont - aval - amont. Il suffira de préciser l'époque du changement de sens des brises pour parfaire l'image très simple de cette « respiration ».

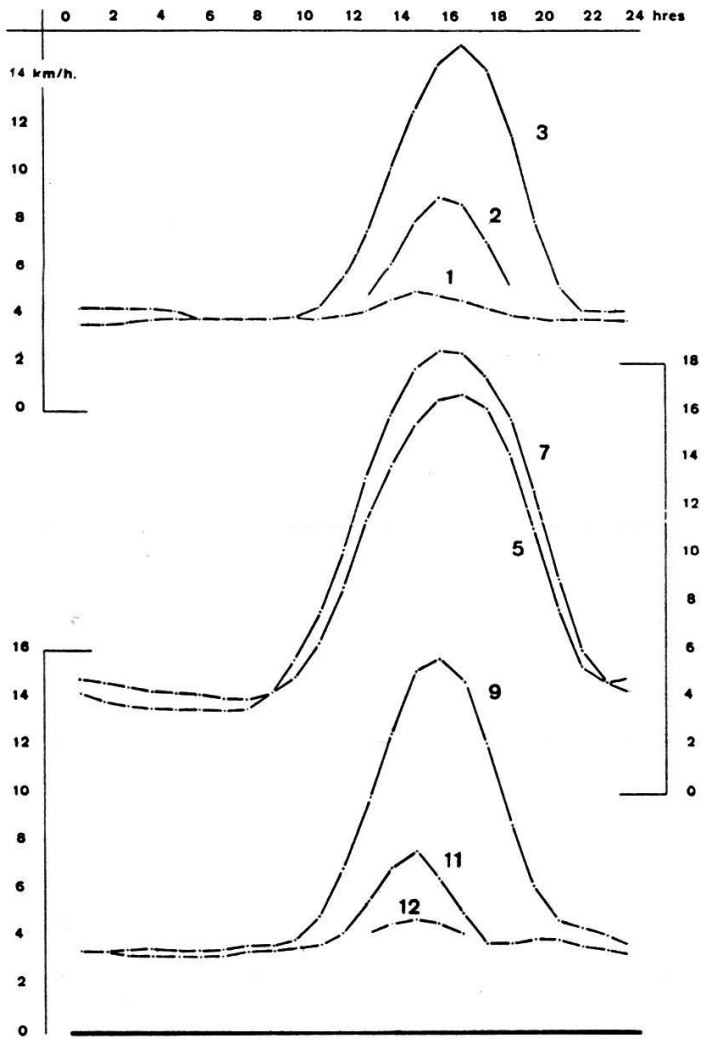

Fig. 4. — Sierre. Brises normales de beau temps : vitesse moyenne au cours du jour, pour huit mois. Les numéros sont ceux des mois choisis : 1 = janvier, 2 = février, etc. (tableau 4).

3. Vitesse.

La vitesse moyenne, d'heure en heure, des brises dites normales fait l'objet du tableau 4 dont les valeurs ont été légèrement adoucies mais ne diffèrent que très peu des valeurs brutes. 493 jours ont été utilisés en tout pour cela.

On retrouve ici l'allure générale de la *variation diurne* présentée par les vents en général (voir plus haut) : la vitesse, faible et quasi constante pendant la nuit, augmente rapidement dès l'installation de la brise d'aval, atteint un maximum et diminue le soir. L'époque du maximum se place vers 15 h en hiver, vers 16 h. 30 au printemps, vers 16 h en été et vers 15 h. 30 en automne; elle varie donc assez peu au cours de l'année.

L'amplitude diurne est minimum en décembre, maximum en juillet; celle du mois de mai est anormalement faible comparée à celle des mois qui l'encadrent. Il en est de même du maximum de vitesse horaire inférieur à celui d'avril : 16,6 km/h contre 17,9 km/h.

La brise d'aval ou de vallée, presque inexistante en plein hiver, atteint son complet développement en juin et en juillet puisqu'elle souffle alors entre 9 et 21 h et atteint l'après-midi la vitesse moyenne de 18,5 km/h ou 5 m/s.

Billwiller (2) sur la base d'observations publiées en 1913 avait trouvé à Sierre et à Saxon des vitesses de l'ordre de 5 à 7 m/s tout à fait concordantes avec celles de Chippis; insuffisamment renseigné, il avait par contre sous-estimé la durée de la brise d'aval.

Quant aux *maxima moyens et absolus* (pointes de vent mesurées à l'anémomètre à pression) de la brise d'aval, ils figurent au tableau 6 (2e et 5e lignes); on voit que les pointes les plus fortes ne dépassent pas 11 m/s de mars à septembre, et 6 m/s en décembre et janvier.

4. Quote-part de l'aval.

On peut effectuer pour les brises normales le même calcul que pour les vents en général en vue d'évaluer l'importance de l'aval. Les vitesses cumulées de la brise de vallée divisées par les vitesses cumulées globales fournissent les quotités d'aval figurant à la deuxième ligne du tableau 9.

En hiver l'aval normal ne représente que le 20 % environ des brises, du point de vue du transport de masse. Mais en été on retrouve à peu de chose près la même proportion que dans le cas de tous les vents : les deux lignes du tableau 9 sont pratiquement identiques de mai à août. *Dans la belle saison la brise d'aval normale transporte trois à quatre fois plus d'air que celle d'amont ;* elle dure pourtant moins longtemps que celle-ci, sauf au milieu de l'été : c'est le facteur vitesse qui est ici déterminant.

5. Les renverses.

Au cours d'une journée de beau temps, et même par ciel nuageux, il y a donc deux changements de sens de la brise, les deux

« renverses » du matin et du soir : la première a lieu lors du passage de la brise descendante nocturne à celle de jour venant de l'aval; la seconde marque le retour à la brise d'amont.

La renverse du matin s'opère sans changement de vitesse : la brise passe en un quart d'heure à peine du Nord-Est au Sud, puis au Sud-Ouest qui dès lors fraîchit lentement. La renverse du soir s'inscrit par la disparition progressive de la brise d'aval suivie d'une période de transition d'une heure environ pendant laquelle la girouette, indécise, tourne au Nord-Ouest, puis au Nord par vitesse quasi nulle : le Nord-Est s'établit alors, faible et régulier, jusqu'au lendemain. En réalité la girouette, tant que dure la brise d'amont, oscille perpétuellement entre le Nord et l'Est, comme si l'air recueilli par le talweg arrivait par bouffées successives.

L'heure de la première renverse est facile à repérer sur l'anémogramme par le changement rapide d'azimut; le soir il y a une certaine indécision par suite de la transition plus longue; j'ai posé comme fin de l'aval le moment où l'anémomètre à pression n'indique plus rien et non la rotation imprécise de la girouette.

En 6 ans, il fut facile de relever 1500 heures de renverses qui reportées sur un canevas jour/heure ont fourni deux essaims de points dont il fut aisé de tracer la médiane. J'obtins de la sorte deux courbes de renverse en fonction du temps où pouvaient se lire les époques pour le 1er et le 15 de chaque mois. De là le tableau 10 donnant le début, la fin et la durée de la brise normale d'aval de quinze en quinze jours.

La brise d'aval est évidemment la plus courte à la fin de décembre et au début de janvier : elle ne souffle alors en moyenne qu'un peu plus de trois heures. Il est même des jours de beau temps à cette époque de l'année où l'aval n'existe pas du tout et où la brise d'amont subsiste tout le jour avec minimum de vitesse l'après-midi. Dès le premier printemps la brise d'aval augmente rapidement d'importance et dure déjà 10 heures au début d'avril. Mais c'est à fin juin et au début de juillet qu'elle est la plus développée : débutant un peu avant 9 h, elle souffle jusqu'à 21 h, parfois jusqu'à 22 h même.

Notons ici que la brise d'aval engage longtemps après le lever du soleil (4 heures après le lever astronomique en juillet !) et s'éteint une à deux heures après son coucher. Il n'en est plus de même dans les vallées latérales comme on le verra plus loin.

Une comparaison avec les brises de beau temps de la plaine de Magadino au Tessin (8) montre que les heures de la renverse y sont à peu près les mêmes qu'en Valais; la vitesse du vent est par contre notablement inférieure.

III. Le vent d'aval dominant.

1. Caractéristiques.

Un certain nombre d'anémogrammes montrent, en toutes saisons, un vent d'aval soufflant bien au delà des limites usuelles de la brise de beau temps : l'aval persiste de nuit et peut dans certains cas se maintenir deux ou trois jours de façon permanente, de sorte que la brise descendante disparaît complètement. Dans l'intention d'éclaircir l'origine de ce comportement particulier, j'ai relevé les jours (205 en deux ans et demi) où l'aval avait soufflé au moins vingt heures de suite et calculé les vitesses moyennes correspondantes qui figurent au tableau 5 par trimestres; le tableau 7 indique les maxima horaires atteints par année.

Deux faits se dégagent d'emblée : 1) les vitesses moyennes sont élevées, surtout celles de nuit, plus de deux fois supérieures à celles du tableau 3 concernant tous les vents; 2) la variation diurne, avec maximum l'après-midi, s'affirme encore très nettement, un peu moins en hiver que dans le reste de l'année.

Les anémogrammes individuels montrent tantôt un vent irrégulier, avec surventes et accalmies et azimut instable, tantôt un vent régulier, tant en vitesse qu'en direction. Dans le premier cas le temps est franchement mauvais, pluvieux, avec petits grains ou accidents de nature frontale; dans le second, le mauvais temps a cessé et le ciel tend à s'éclaircir.

Le vent d'aval permanent ou quasi permanent apparaît dans tous les mois de l'année, mais plus particulièrement au printemps, le mois d'avril étant le plus favorisé (tableau 11); c'est de novembre à janvier qu'il est le plus rare, à raison de 2 à 3 jours par mois.

Dans la région, ce vent est communément appelé « bise » ce qui l'apparente faussement à la bise authentique du Plateau avec laquelle il n'est pas du tout nécessairement lié. En effet, il peut y avoir de la bise à Lausanne et à Genève, même forte, sans que le Valais en soit affecté; inversement, il peut y avoir « bise » à Sion et simultanément vent d'Ouest à Lausanne.

2. Origine.

L'examen synoptique de 205 cas de vent d'aval dominant révèle une situation météorologique caractérisée par les faits que voici :

1) Vent à 5000 m (sondages de Payerne) : secteur NW, 69 %, secteur SW, 21 %, secteur NE, 10 %.

2) Vent au sol sur le Plateau : W à NW, 65 % ; forts d'W à SW, 3 % ; NE (bise), 32 %.

3) Gradient transalpin : du Nord au Sud, sauf 3 cas.

4) Température à Sion : deux fois sur trois inférieure à la normale.
5) Précipitations : pluie à Sion dans 39 % des cas, à Montana dans 56 %.

Ces indications ainsi que l'analyse des cartes synoptiques mettent clairement en évidence une situation météorologique telle que le Valais est atteint par de l'*air frais post-frontal.* En d'autres termes, les jours avec vent d'aval dominant sont ceux qui suivent le passage d'un front froid net, alors que le vent en altitude tourne au Nord-Ouest et au Nord. On reconnaît là le type Nord-Ouest avec effet de barrage sur le versant nord des Alpes. Le cas du courant de NE (bise) n'est pas rare, mais la réciproque n'est pas vraie dans ce sens que dans maints cas de bise franche, même forte, sur le Plateau la brise reste normale en Valais.

Voici un exemple. Le 10 janvier 1958 un front froid provoque une forte baisse de température; le vent en altitude passe au Nord. A Sierre, le vent est d'aval, moyen, dès 13 h et se maintient le 11 jusqu'à 21 h par bise sur le Plateau. Les 12 et 13 janvier le courant en altitude passe au NE et inaugure une période de forte bise allant jusqu'au 17. Or à Sierre le vent est faible les 12 et 13, et même tout à fait normal dès le 14 avec alternance régulière des brises.

La présence d'un « corps froid » (Kaltlufttropfen) stationnaire au voisinage de la Suisse peut également déclancher un vent d'aval dominant dans la vallée du Rhône.

Il est intéressant de noter que le fort vent d'Ouest à Sud-Ouest sur le Plateau par gradient Sud-Nord accusé ne s'observe que très atténué en Valais. Le 17 janvier 1955, par exemple, on mesure 100 km/h à Bâle, 25 seulement à Sierre; le 30 décembre de la même année, Genève enregistre un vent de 130 km/h auquel correspond un maximum de 10 km/h à Sierre !

3. Vitesse.

Les tableaux 5 et 19 fournissent tous les éléments souhaitables; le second met en regard les vitesses moyennes de vent à Sierre et à Montana pour les mêmes jours et aux mêmes heures. Il peut paraître surprenant qu'elles soient plus élevées à 500 m qu'à 1500 m, alors que dans la règle le vent augmente d'intensité avec l'altitude. Ce comportement correspond pourtant à la réalité pour la raison que voici. On a vu plus haut que l'on avait affaire à des situations de Nord-Ouest à Nord-Est, c'est-à-dire à un courant général dirigé normalement à l'axe alpin. Dans ces conditions, Montana adossé au versant Sud des Alpes bernoises se trouve « sous le vent » de l'obstacle et relativement à l'abri. Au vent quasi con-

tinu d'WSW dans le talweg rhodanien correspond alors à Montana un vent oblique venant du NW, plus ou moins plongeant et en tout cas indirect, irrégulier et atténué. Cela explique les vitesses moyennes plus basses en cet endroit qu'à Sierre.

La vitesse relativement élevée à 6 h 30 en hiver (14 km/h) à Montana semble à première vue aberrante; mais comme elle apparaît dans toutes les moyennes mensuelles, je la considère comme réelle sans pouvoir l'expliquer.

En résumé, *en cas de mauvais temps et après celui-ci, lorsque se poursuit l'afflux d'air du Nord en Suisse, le vent dans la vallée du Rhône est d'aval quasi permanent (bise),* le régime normal des brises alternées est alors suspendu, mais l'accroissement de vitesse de l'après-midi subsiste : la brise de vallée se superpose au vent d'aval dû au gradient général de pression.

IV. Le foehn.

1. Définition et caractères généraux.

En raison de l'importance considérable du foehn dans le régime venteux des Alpes, je crois utile de lui consacrer une analyse assez détaillée à Sierre, analyse qui sera reprise dans la deuxième partie et étendue au Valais.

Est réputé foehn dans ce qui suit tout vent d'amont se distinguant sans ambiguïté de la brise normale de montagne par sa vitesse anormalement grande, par une température relativement élevée et une humidité relativement basse, soufflant par excès de pression au Sud des Alpes et courant du secteur Sud au-dessus de 3000 m.

Ces conditions étant remplies, il y a foehn à Sierre. Une remarque doit être faite au sujet du gradient de pression: il s'est trouvé 8 cas sur 222 où celui-ci était dirigé du Nord au Sud, et où, à 5000 m, régnait un flux du Nord à Nord-Est; le vent alors observé à Sierre n'en était pas moins du foehn authentique. J'y reviendrai.

Le foehn à Sierre est un vent du Nord-Est, quelquefois de l'Est-Nord-Est, jamais du Sud, cela en raison de l'orientation générale de la vallée. Il est toutefois curieux que le foehn descendant le Val d'Anniviers, donc venant de SSE, ne se fasse pas sentir à Sierre; il est juste de rappeler que la station météorologique de Chippis se trouve à 1 km en aval du débouché d'Anniviers et pourrait de ce fait échapper au vent du Sud issu de cette vallée. Mais les renseignements recueillis font penser que le foehn des vallées latérales de la rive gauche, d'ailleurs plus rare, n'atteint pas le talweg de la vallée principale. Le cas de la vallée des Vièges est réservé.

Repérer les coups de foehn dans la collection d'anémogrammes sierrois ne présente aucune difficulté ni ambiguïté. Sous réserve de quelques occasions très rares où il pouvait y avoir doute, les anémogrammes de foehn sont si typiques, si frappants et si nets, que l'authenticité de ce vent s'impose d'emblée. Aucune confusion avec la brise d'amont nocturne n'est possible en dépit de l'identité de direction : le foehn est beaucoup plus fort et se lève au milieu du jour en général. La brusque apparition du vent du Nord-Est fraîchissant rapidement, passant par un maximum plus ou moins étalé et mollissant plus ou moins lentement jusqu'à extinction ou remplacement par le vent d'aval dans le cas des fronts froids est tout à fait caractéristique à Sierre. Bien entendu le contexte synoptique doit être considéré dans chaque cas pour confirmer le diagnostic; il le fut toujours.

Un caractère important du foehn sierrois et qui, sauf erreur, lui est propre est sa périodicité accusée, ou plus explicitement sa liaison avec le rythme diurne. En effet, comme on le verra, le foehn souffle de préférence dans la seconde moitié du jour : débutant peu après midi, il cesse d'ordinaire peu avant minuit. Son apparition dépend par conséquent dans une forte mesure de la variation diurne des propriétés atmosphériques, de la température en particulier ou de son gradient vertical.

Un second caractère, corollaire du précédent, est l'effet discret du foehn sur la température. Comme le début du vent a lieu dans la règle au milieu du jour, c'est-à-dire au moment où la hausse diurne n'est pas encore terminée, il n'y a pas ou presque pas de trace typique sur le thermogramme. Plus tard, en fin d'après-midi ou dans la soirée, l'effet réchauffant du foehn apparaît alors en maintenant la température à un niveau anormalement élevé. Les éventuelles reprises nocturnes s'inscrivent aussi très nettement sur la courbe enregistrée. Une remarque analogue doit être faite au sujet de l'humidité relative.

2. Fréquence.

De juin 1953 à mai 1960 il y a eu 222 jours de foehn, soit 32 par an (tableau 15); dans la même période on relève 1808 heures ou 258 par an. En 1951, dans une étude préliminaire (19), j'avais trouvé 36 jours de foehn à Sierre à l'aide de documents encore insuffisants; l'ordre de grandeur était bon.

Comme on le sait depuis longtemps, ce vent des vallées alpines se distribue irrégulièrement au cours de l'année en apparaissant de préférence au printemps et en automne. En Valais, à Sierre du moins, le foehn obéit à la même règle en ce qui concerne le premier maximum de fréquence, mais pas le second. Il y a 1 à 2

jours de foehn par mois en moyenne de juillet à décembre, à peine 1 en janvier, mais ensuite 5 en mars, avril et mai. Le maximum printanier est donc très accusé ce qui correspond d'ailleurs à l'expérience des habitants de la contrée. Il y a autant de foehn durant le trimestre de mars à mai que dans le reste de l'année; on retrouvera cette période venteuse de printemps à propos de la lombarde de Montana.

Il existe des vallées plus souvent visitées par le foehn que le Valais central. L'installation récente d'un anémographe à Altdorf permet une comparaison intéressante entre le Valais et une vallée à foehn des plus classiques, celle de la Reuss. Connaissant la durée totale du foehn à Altdorf et à Sierre respectivement pour la même période (1955/59), on peut calculer leur rapport : il vaut 2,06. Ainsi, *il y a deux fois plus de foehn dans la vallée de la Reuss que dans celle du Rhône à Sierre.* L'orientation sensiblement Sud-Nord de la première est probablement la cause principale de cette richesse.

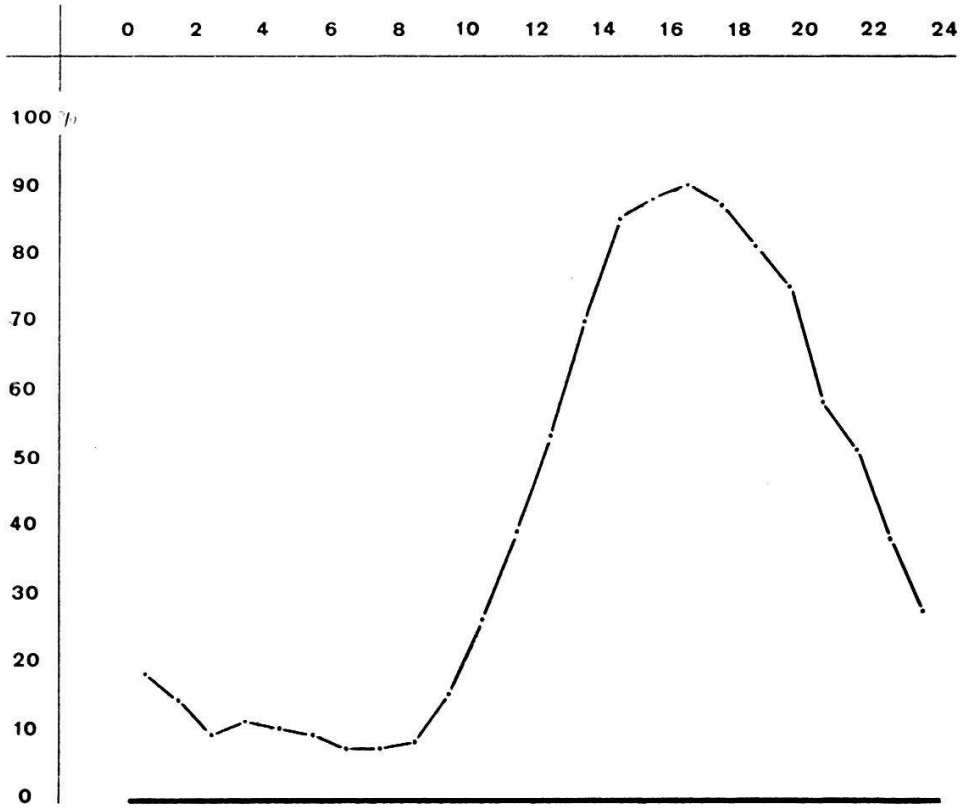

FIG. 5. — Sierre. Variation diurne de la fréquence des heures de foehn, en pour mille (tableau 14).

Mais pour montrer à quel point le phénomène du foehn est complexe, j'ajoute que le nombre d'heures de foehn simultané à Sierre et à Altdorf ne représente que le 60 % du total sierrois : 6 fois sur 10 le foehn souffle en Valais en même temps que dans

le Reusstal; 4 fois sur 10 il y règne sans apparaître dans l'autre vallée.

Le gradient de pression transalpin — plus exactement la différence de pression — calculé entre Locarno et Zurich-Kloten (144 km) fut en moyenne de 6,3 mb pour 151 cas de foehn, l'excès étant bien entendu au Sud des Alpes.

Les *heures de foehn* se répartissent au cours du jour de façon à présenter un maximum très prononcé entre 16 et 17 h (tableau 14 et figure 5). C'est entre 2 et 8 h que le foehn est le plus rare, et entre 14 et 18 h qu'il est le plus fréquent; sur 1858 heures de ce vent il y en a 1638 qui tombent entre 10 et 24 h, soit le 88 %. Cette *variation diurne fortement accusée,* également observée à Innsbruck et à Salzburg (3) est remarquable et mérite la plus grande attention à propos du problème délicat de la descente du vent au fond de la vallée, phénomène incompatible avec la statique des gaz. On ne peut s'empêcher de mettre en parallèle la périodicité diurne du foehn avec celle du gradient vertical de température; ce point sera repris plus loin lorsque sera abordé le lien unissant la lombarde au foehn.

Le comportement différent, en apparence du moins, du foehn à Altdorf qui semble souffler aussi bien de nuit que de jour est curieux; il conviendrait de reprendre le problème et de comparer les vallées du Rhône et de la Reuss à ce point de vue en utilisant les mêmes critères de part et d'autre.

3. Durée.

Deux moyens s'offrent pour établir la durée moyenne d'un coup de foehn; le premier consiste à calculer le quotient de la durée totale, cumulée, de ce vent pendant 6 ans par le nombre de cas; le second fait appel à l'heure moyenne d'apparition et d'extinction du phénomène.

1) Une durée totale de 1654 heures de foehn répartie sur 200 cas donne une *durée moyenne de 8,3 h.* Il est évidemment des foehns plus courts, de l'ordre d'une heure ou deux, rares cependant; il en est de plus longs, comme par exemple celui des 18/19 mars 1956 qui, sans arrêt, se maintint pendant 34 heures et détient le record de durée de la série septennale 1953-1960.

2) Comme il a été noté plus haut, le foehn se lève presque toujours au milieu du jour et se termine dans la nuit. *L'heure moyenne du début s'établit à 12,8 h, celle de la fin à 20,7 h* (152 cas); en excluant les cas où un front froid a mis fin au foehn on obtient le terme un peu plus tardif de 21,4 h. Le foehn se lève donc le plus souvent vers 12 h$^3/_4$ et prend fin vers 21 h $^1/_2$, plus tôt si une arrivée d'air froid vient mettre un terme au phénomène.

Les deux méthodes conduisent au même résultat. Il faut donc s'attendre à Sierre qu'un coup de foehn dure 8 à 9 heures en général. Dans 83 % des cas il débute entre 9 et 16 h, et dans 79 % des cas il cesse entre 17 h et 1 h du matin.

4. Vitesse.

Le foehn à Sierre est presque toujours un vent fort, parfois violent : c'est d'ailleurs *le vent le plus fort que l'on puisse observer en ce lieu,* car le vent d'aval de mauvais temps n'atteint pas son intensité moyenne, ni ses pointes (tableau 8).

On peut donner une idée de sa vitesse en calculant le quotient des vitesses cumulées par la durée totale ce qui fournit la moyenne générale de 27 km/h. Les foehns bien développés ont une vitesse moyenne plus élevée ; celui, particulièrement violent, du 9 décembre 1954 souffla pendant 13,2 heures à la vitesse moyenne de 48 km/h, mais atteignant 63 km/h entre 11 et 12 h.

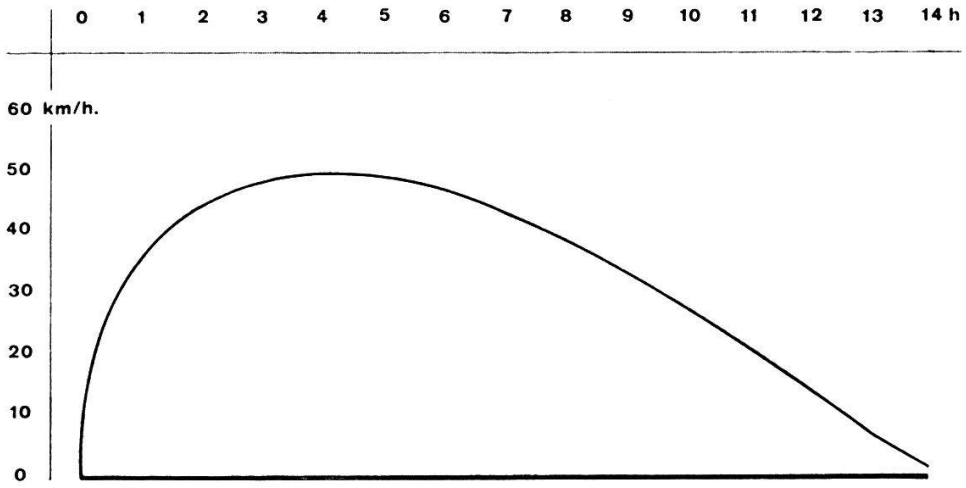

Fig. 6. — Sierre. Vingt cas de foehn fort : vitesse moyenne d'heure en heure à partir du début du vent (tableau 12).

Les maxima de vitesse sont donnés par le tableau 6 où figurent les plus grandes intensités en une heure observées chaque mois (3e ligne) et les maxima absolus, c'est-à-dire les rafales instantanées les plus fortes (6e ligne). Fait remarquable : ces maxima absolus sont aussi ceux du vent sierrois en général, de sorte que se confirme par là aussi le rôle particulier du foehn dans le Valais central où il représente le vent le plus fort. Le maximum maximorum de 28 m/s fut observé le 9 décembre 1954 à 11 h. 30.

Dans la règle le foehn fraîchit plus rapidement qu'il ne calmit ; autrement dit le maximum d'un coup de foehn se place nettement plus près de son début que de sa fin. Vingt cas de fort foehn à peu près de même durée traités ensemble donnent les vitesses

moyennes du tableau 12 et la courbe de la figure 6 où apparaît la très rapide augmentation de vitesse, puis sa décroissance progressive jusqu'à l'annulation du vent. L'allure du phénomène suggère en somme une *brusque rupture d'équilibre* au moment où le foehn atteint le fond de la vallée suivie d'un retour progressif à l'état d'équilibre statique primitif.

5. Avant et après le foehn.

Le vent régnant *avant le foehn* est normalement celui d'aval, en général faible; le foehn se substitue à lui le plus souvent de façon brusque, en l'espace de quelques minutes seulement. Dans certains cas il y a une période transitoire durant laquelle la girouette oscille entre les deux directions : c'est la « préparation », de l'ordre d'une demi-heure. Cette préparation peut parfois, mais rarement, durer plus longtemps ; elle fut de trois heures le 17 mai 1955, de six heures le 20 décembre 1958. Toutefois le cas le plus usuel est l'apparition brusque du foehn qui fraîchit ensuite rapidement; deux fois sur trois il n'y a pas de préparation.

Lorsque s'intercale entre l'aval normal et le foehn la phase préparatoire mentionnée, l'anémogramme reflète l'image de poussées successives du vent de Nord-Est en train de laper l'air reposant sur le sol; il y a alternance d'aval et d'amont faibles qui certainement sont l'effet de tourbillons à axe horizontal entraînés vers l'aval. La courbe même de vitesse décrite par l'anémomètre à moulinet présente alors un festonné caractéristique, c'est-à-dire de petites ondulations ou variations faibles de vitesse, d'une période de l'ordre de 5 à 10 minutes. Ce festonné qui disparaît pendant le foehn s'observe également après celui-ci s'il n'y a pas de front froid subséquent.

Voici un exemple correspondant au schéma usuel. Le 9 novembre 1957, après une brise d'aval de 2 à 3 km/h, le foehn s'est levé à 11 h 40 : en 5 minutes le vent tourna de WSW à NE et passa de 3 à 20 m/s; il atteignit son maximum vers 14 h avec des pointes de 26 m/s et se prolongea jusqu'à 13 h 10 le lendemain avec quelques accalmies d'une durée totale de 8 heures. Une hausse rapide de température de 5 degrés coïncida avec le début du vent qui fut donc fort et anormalement long.

Après le foehn qui, rappelons-le, prend fin presque toujours de nuit c'est l'amont qui s'installe, de même direction mais beaucoup plus faible : c'est la brise normale nocturne. La permanence de direction rend parfois un peu incertaine la fin du fœhn; c'est alors la chute nette de vitesse qui permet le diagnostic, souvent aussi la hausse d'humidité relative.

On observe également après le foehn un état très instable durant lequel la girouette est complètement folle; elle indique alors tous les

azimuts tour à tour par faible vitesse de vent, de l'ordre de 1 à 2 m/s. La station se trouve au voisinage de la limite séparant une mince couche d'air quasi immobile au sol et le courant de foehn qui la balaie par dessus. Cet état peut se prolonger plusieurs heures, puis se stabiliser, ou au contraire préluder à un deuxième coup de foehn.

Dans 26 cas sur 152 (17 %), la fin du foehn a coïncidé avec l'arrivée d'une masse d'air froid : la girouette passe rapidement de l'amont à l'aval, à vitesse constante ou croissante. On a alors affaire à un front froid pénétrant en Valais par l'Ouest et venant se glisser sous le courant chaud du foehn refoulé vers le haut; les enregistrements de température et de pression indiquent alors nettement le changement de masse.

Je mentionne encore, sans y insister car le phénomène est très complexe, que certains fronts froids pénètrent en Valais du Nord et même du Sud-Est et que l'air neuf vient dans ces conditions se mêler au foehn dont la température baisse, la direction du vent restant la même.

Utilisant une image un peu simpliste, je dirai pour résumer que le foehn meurt en général d'épuisement, s'éteint en faisant place aux conditions normales de circulation; dans d'autres cas, une fois sur cinq environ, il cède la place à un vent de direction opposée, il succombe devant le front froid.

6. Quote-part du foehn.

Après avoir montré que le foehn valaisan est le vent le plus puissant, je voudrais préciser son importance dans le transport de masse en général. Il suffit de sommer les vitesses du foehn et celles du vent global, puis de comparer.

En regard du vent d'amont tout d'abord, le foehn en représente en moyenne le 28 % : 14 % en hiver, 55 % au printemps, 21 % en été et 14 % en automne. Par rapport au vent global il en constitue le 9 % : 7 % en hiver, 16 % au printemps, 4 % en été et 5 % en automne. Ces chiffres montrent, eux aussi, le rôle important du foehn au printemps, pendant les mois de mars à mai.

7. Le vent a 5000 m.

Voici les directions du vent à 5000 m telles que les fournissent les sondages de Payerne pour les jours de foehn à Sierre ; les fréquences relatives se distribuent de la façon suivante :

W	5 %	SSE	5 %
WSW	15	SE	5
SW	34	ESE	4
SSW	14	E	1
S	14	NE	3

Le secteur Sud-Ouest correspond aux situations classiques de foehn avec pression basse au Nord-Ouest et haute au Sud-Est du continent; c'est la circulation quasi-méridienne de l'Europe centrale, renforcée par le coin de haute pression au Sud des Alpes.

Le secteur Sud-Est par contre correspond aux situations présentant une dépression du Midi français ou de la Méditerranée occidentale, ou encore un profond couloir dépressionnaire au niveau de 500 mb à l'Ouest. Il semble que le Valais soit plus sensible aux courants du Sud-Est à 5000 m que la Suisse centrale.

Les vents du secteur Nord-Est figurant dans le petit tableau ci-dessus appellent une explication. Il s'est trouvé en effet dans la liste des foehns sierrois 8 cas en 7 ans pour lesquels d'une part le gradient transalpin indiquait une surpression au Nord des Alpes et d'autre part les sondages de Payerne confirmaient l'existence d'un courant du Nord à Nord-Est en altitude. Comme le vent alors observé à Sierre présentait tous les caractères usuels du foehn, il faut admettre qu'on peut avoir en ce lieu ce que les météorologistes appellent le *foehn du Nord* et que l'on connaît fort bien au Tessin.

Je ne connais pas d'autre endroit en Suisse où apparaisse du fœhn dans deux situations météorologiques complètement différentes. Cela tient manifestement à la position longitudinale de la vallée du Rhône par rapport à l'axe alpin.

L'étude du foehn en d'autres parties du Valais et sa relation avec le vent à 1500 m (lombarde) figure dans la troisième partie.

V. Autres vents particuliers.

1. Les vents de travers.

On relève sur certains anémogrammes de Chippis des coups de vent, en général faibles et de courte durée, soufflant du Nord-Ouest à Nord, donc perpendiculairement à l'axe de la vallée. Ces vents de travers qui descendent le versant des Alpes bernoises et que l'on retrouve sur cet adret même plus nettement encore (Montana) sont accidentels, c'est-à-dire rares et de peu d'importance dans le régime des vents de la région; ils méritent cependant quelque attention.

Les vents de travers ont aussi leur époque préférée. Le tableau 20 de leur distribution de fréquence prouve qu'ils sont *essentiellement printaniers*; on les observe en effet avant tout pendant les mois d'avril à juin (79 %) et pour ainsi dire jamais en hiver. Ils apparaissent en outre de jour seulement, à partir de 10 h au plus tôt et pas au delà de 21 h, de préférence entre 12 et 18 h.

Tous les vents de travers relevés sur les anémogrammes sierrois ont été également observés à Montana, 1000 m plus haut, sans exception. Ce sont donc bien des *vents catabatiques* dévalant le versant méridional des Alpes bernoises.

La genèse des vents de travers est simple, bien que leur mécanisme exact soit encore mal établi. On ne les observe que lorsqu'à 3000 m et au delà règne un courant du secteur Nord, compris entre les directions NW et NE, c'est-à-dire par gradient transalpin dirigé du Nord au Sud. La situation est en somme la même que celle qui préside au vent d'aval dominant; elle est caractérisée par un afflux d'air maritime-polaire ou subarctique instable donnant des précipitations en montagne, mais pas dans la plaine du Rhône même.

Alors que ces situations se présentent en tout temps, mais de façon plus durable dans le premier semestre, les vents de travers eux n'apparaissent pratiquement qu'au printemps. Ce fait, comme celui de leur apparition exclusivement diurne, tient probablement à la valeur élevée du gradient vertical de température des masses d'air venant du Nord et au maximum printanier de ce gradient.

Puisque les vents de travers proviennent de la chaîne des Alpes bernoises, d'une altitude moyenne de 2710 m entre les Dents de Morcles et le col de la Gemmi, ils pourraient se faire remarquer par un effet de foehn par suite de la compression; on devrait trouver des traces de réchauffement sur les enregistrements de température. L'effet existe, mais il est discret. Il y a à cela deux raisons : 1) les vents de travers sont froids; 2) la vitesse à Sierre est faible et très irrégulière. Les thermogrammes indiquent parfois une légère baisse de température, mais l'humidité tend à diminuer.

Le 24 mai 1960 par exemple, il y eut un vent de travers plus développé que d'ordinaire, de NW à NNW, entre 14 et 22 h : la température baissa légèrement vers 15 h et resta inférieure de un à deux degrés à celle de la veille, tandis que l'humidité relative était de 15 à 20 % plus faible. Le même phénomène se reproduisit le lendemain avec vent du Nord entre 13 et 19 h. L'effet foehn existe donc, mais c'est celui d'un vent relativement froid par rapport à l'air préexistant dans la vallée.

2. Les vents d'orage.

On remarque en été de temps à autre sur les anémogrammes de brusques surventes provenant de directions variées, de courte durée, une heure au plus, mais parfois assez intenses (plus de 10 m/s). Il ne s'agit ni de foehn, ni de grains, ni de fronts, mais bien de *décharges* orageuses.

On sait que tout orage et même tout cumulonimbus donne naissance à une retombée locale d'air froid qui s'étale sur le sol en provoquant une hausse de pression passagère. Dans un pays fermé comme le Valais, ces décharges doivent se frayer un chemin le long des vallées, dans une seule direction, et revêtent de ce fait une plus grande intensité qu'en pays ouvert et plat où l'air en excès s'écoule radialement autour du centre de retombée. De là des surpressions locales et passagères et ces curieux coups de vent régionaux sur le compte desquels il faut mettre la fameuse *vaudaire d'orage* du Bas-Valais et du lac Léman très spectaculaire (14). Ces phénomènes ne jouent qu'un rôle minime dans l'économie venteuse du Valais, mais en constituent un aspect fort intéressant et peu connu. Voici deux exemples, le premier ayant trait à un fort orage valaisan, le second ne concernant qu'un jour à convection à peine orageuse.

Le 11 juin 1950, un orage issu de la Savoie remontait la partie centrale du Valais pour aller s'éteindre dans la région du lac des Quatre-Cantons après avoir lâché une averse de pluie et de grêle, particulièrement dense au Sud de Sion et de Sierre. La hausse de pression momentanée qui débuta au passage de l'orage créa un gradient de pression dirigé du Valais vers le Léman et qui atteignit 3,3 mm entre Sion et Lausanne vers 21 h. Une forte vaudaire se mit à souffler sur le Haut-Lac (40 km/h à Lausanne avec pointes de 80 km/h), causant des dégâts parmi les embarcations ancrées dans les ports de la côte suisse (20).

Le 9 juillet 1956, on observa tant à Montana qu'à Sierre un bon vent catabatique du NNW entre 14 et 17 h, atteignant 40 km/h et donnant quelques rafales de 15 à 16 m/s. Il y avait ce jour-là une convection très développée, et en particulier de nombreux cumulonimbus sur la crête des Alpes bernoises. Un coup de tonnerre retentit vers 16 h, accompagné d'une petite averse locale; à Montana une baisse rapide de température de trois degrés témoigne indiscutablement de la décharge froide du nuage. On pourrait multiplier les exemples.

3. Les grains et les fronts.

Les anémogrammes de Sierre présentent un assez grand nombre d'accidents dus à des grains ou des fronts froids : brusques surventes de courte durée, sans changement notable de direction, celle-ci restant dictée par le couloir de la vallée.

Ces accidents apparaissent toujours par vent d'aval. Sont-ils aussi nombreux qu'en dehors du massif alpin, sur le Plateau suisse en particulier ? Il n'est pas possible de répondre exactement à cette question faute de comparaison systématique entre enregistrements

parallèles de vent aux deux endroits. L'expérience semble toutefois montrer que la plupart des perturbations observées sur le Plateau laissent des traces en Valais, même si elles s'y manifestent sous forme atténuée; elles le font avec un certain retard aisément explicable par l'allongement du chemin parcouru. Le problème n'a pas été abordé jusqu'ici; il est lié à celui des voies de pénétration de l'air neuf dans la profonde vallée.

On se heurte dans un examen de ce genre à la difficulté de définir les perturbations de façon univoque; il existe en effet entre la décharge orageuse purement locale et le grain s'étendant sur plusieurs centaines de kilomètres toute une gamme d'accidents barométriques, thermométriques et anémométriques difficiles à classer et dont on ne connaît pas toujours l'extension géographique.

Entre le Plateau suisse et la plaine lombarde, le Valais occupe, du point de vue des passages frontaux, une position intermédiaire; une frontolyse s'y produit qui au Sud de la chaîne pennine a effacé la structure discontinue des fronts venus de l'Ouest ou du Nord. Mais il est hors de doute que les changements de masse, à quelques rares exceptions près, affectent l'ensemble du massif alpin à l'intérieur duquel, comme en Valais, on peut encore les repérer plus ou moins facilement.

Les grains orageux classiques avec l'arc nuageux noirâtre qui les caractérise sont, le fait est certain, beaucoup moins nets en Valais que dans la région du Léman; leur système nuageux y devient amorphe et se réduit à un assombrissement souvent à peine perceptible.

L'étude complète des perturbations à grande échelle, de leur propagation, de leur acheminement vers le centre des Alpes est encore à faire.

DEUXIEME PARTIE. LE VENT A MONTANA

1. Direction.

En l'absence d'anémographe à Montana, les seuls documents disponibles pour l'étude des vents sont d'une part les observations effectuées six fois par jour de 1953 à 1958 avec lecture de l'anémomètre à transmission électrique, d'autre part mes très nombreuses notes prises au jour le jour sur l'allure du temps et ses phénomènes particuliers. Ces dernières sont de nature à suppléer aux insuffisances du matériel statistique.

Renonçant d'emblée à dresser un tableau de fréquences qui n'aurait guère de signification physique, je me borne à esquisser les grands traits du régime venteux de l'endroit qui diffère notablement de celui de Sierre. Les principaux vents observés à Montana

sont : le vent d'Ouest de mauvais temps, les brises de beau temps, la lombarde ou vent d'Est et les vents catabatiques ou plongeants parmi lesquels il faut mettre à part les décharges orageuses.

Le vent d'Ouest à Nord-Ouest souffle par mauvais temps, lors des passages frontaux et dans l'air froid post-frontal, au début du moins. Il est rarement fort, de l'ordre de 20 à 30 km/h environ. Il arrive parfois que des grains se manifestent par des rafales momentanées et bien vite passées.

Avant de traiter en détail les autres vents et les brises, il convient d'examiner ce que l'on sait de la vitesse, sans distinction de direction.

2. Vitesse.

Le tableau 15 relate la vitesse moyenne de tous les vents mesurée six fois par jour.

La *variation diurne* est très nette, même en hiver : la vitesse augmente le matin, atteint son maximum l'après-midi et diminue rapidement après 17 h. Sauf au mois de janvier, c'est l'observation de 15 h 30 qui accuse la plus grande vitesse de vent. Le maximum réel doit se placer vers 15 h en hiver et vers 16 h en été; on peut estimer sa valeur par une interpolation à vue qui donne 9 km/h en janvier, 13 en mars, 15 en mai, 14 en juillet, 13 en septembre et 9 en novembre.

La *variation annuelle* s'inscrit par un accroissement de vitesse dans la belle saison, les mois d'avril et de mai apparaissant comme les plus ventés.

Dans l'ensemble la vitesse du vent présente un régime analogue à celui de Sierre, bien que la direction des brises de temps serein soit soumise à un rythme différent. A ces dernières il vaut la peine de consacrer quelques développements et d'en analyser le comportement au cours du jour et à travers les saisons.

3. Les brises normales de beau temps.

Comme à Sierre et pour la même sélection de jours, j'ai mis à part les brises alternées, remontantes et descendantes, qui s'installent immanquablement par beau temps à Montana et je les ai cataloguées en vue de connaître les vitesses moyennes. Mais alors qu'à Sierre la direction est pratiquement unique avec des sens opposés selon le moment du jour, on observe à Montana la rose des vents complète comme on va le voir. Les brises de beau temps sont en effet ici des *brises de versant*, c'est-à-dire qu'elles remontent ou descendent la pente de la montagne en suivant des trajectoires variées : tous les azimuts sont possibles, même si ceux du secteur Nord-Est sont très fugaces, au lever du soleil. Le régime a un

caractère à la fois diurne et saisonnier et peut se décrire de la façon suivante :

La *brise nocturne* est descendante; c'est une pellicule d'air qui glisse vers le bas du versant à une vitesse faible, de l'ordre de 1 à 2 m/s, à peu près invariable, semble-t-il, toute l'année. L'écoulement se fait selon la ligne de plus grande pente, soit du N à NNW. La brise souffle du coucher du soleil à son lever. Par coucher il faut entendre l'heure du coucher du soleil réel sur le versant et non le coucher astronomique; vu l'orientation du versant, sa mise à l'ombre a lieu vers 16 h 30 en hiver, vers 19 h. 15 en plein été; c'est à ces heures-là que la brise descendante commence à s'installer. La fin de la brise nocturne a lieu dès le lever réel du soleil, voire même un peu avant, lorsque les pentes au-dessus de la station reçoivent les premiers rayons.

La *brise diurne* d'été débute dans le quart d'heure qui suit le lever. Elle souffle d'abord faiblement de l'ESE, puis tourne au SE en fraîchissant lentement, passe au S vers midi, puis au SW et enfin à l'WSW où elle se maintient tout l'après-midi en atteignant son plein développement. A l'approche du coucher du soleil, la brise a déjà molli et tourne à l'W puis au NW.

On ne peut parler ici de renverse des brises. Le passage de l'une à l'autre se fait le matin par une brève accalmie, le soir par rotation continue de l'W vers le NW à vitesse réduite.

En somme la brise de versant décrit en 24 heures en été un tour complet; elle suit le soleil au cours du jour, reste fixe en direction pendant la nuit et passe rapidement du Nord à l'Est au moment du lever héliaque. On remarquera que la brise diurne débute à Montana beaucoup plus tôt qu'en plaine : au solstice d'été à 5 h 20 env., soit 3 h et demie avant la renverse de Sierre !

Le mécanisme décrit s'applique à la belle saison. En automne, la brise de SW de l'après-midi s'affaiblit progressivement et dès le milieu d'octobre elle cesse complètement; dès lors et jusqu'à fin mars, la brise diurne conserve tout le jour la même direction de SE environ avec une faible intensité (3 à 4 km/h).

La *vitesse* des brises normales de beau temps est indiquée par le tableau 16 dont les valeurs n'ont pas été retouchées. On remarquera le déplacement du maximum du matin vers l'après-midi en passant de l'hiver au printemps. A partir de mars, la plus grande vitesse figure à l'observation de 15 h 30 et s'élève en moyenne à 13 km/h environ d'avril à août.

D'après les chiffres donnés les brises normales à Montana sont nettement moins intenses qu'à Sierre. Il faut toutefois remarquer que les vitesses mesurées sont probablement un peu trop faibles par suite des conditions tout à fait locales. La brise nocturne en

particulier est en réalité un peu plus forte que ne l'indique le tableau 16 qu'il faudrait peut-être majorer de 50 % environ le soir à 21 h 30. La brise diurne, comme j'ai pu le constater, est un peu plus forte à l'extrémité occidentale du plateau de Crans.

Quoi qu'il en soit, les comparaisons faites lors de déplacements du haut vers le bas ou vice versa montrent sans conteste que la brise de vallée à Sierre est notablement plus forte que celle de Montana au même moment. Les brises nocturnes sont par contre du même ordre de grandeur aux deux endroits.

4. La lombarde.

Il m'a paru commode d'appeler ainsi le vent le plus caractéristique et le plus fort de l'adret de la vallée du Rhône et de l'apparenter à un vent des Alpes françaises de même direction et très certainement de même origine (1). Il s'agit du *vent d'Est* qui fait irruption en Valais, en particulier sur le versant méridional des Alpes bernoises; à Montana c'est un vent d'Est-Nord-Est, assez fréquent, régnant par périodes plus ou moins longues et qui constitue un élément important de son climat.

La lombarde apparaît en moyenne 76 jours par an comme l'indique le tableau 13 fondé sur onze ans d'observations. Sa fréquence présente un maximum printanier suivi d'un minimum estival, puis d'un second maximum automnal. Les mois de mars à mai et de septembre à novembre sont les plus favorisés. On retrouve dans cette allure celle du foehn auquel la lombarde est étroitement liée.

Comme la bise sur le plateau, la lombarde tend à s'installer durablement : comme elle est en général l'indice d'une situation de foehn, elle se maintient tant que dure celle-ci. D'après le tableau 17 la lombarde souffle le plus souvent moins de 24 heures; mais les périodes de plusieurs jours ne sont pas rares du tout; elles peuvent atteindre jusqu'à 11 jours ce qui ne s'est présenté que deux fois en 11 ans.

La lombarde se fait sentir sur le versant de la rive droite du Rhône, depuis sa base (en cas de foehn) jusqu'à la crête de la chaîne bernoise où le vent est alors de SE à S ; elle n'apparaît pas sur le versant de la rive gauche. En effet, tant l'immobilité très souvent constatée des bancs de brume ou de lambeaux de brouillard que les observations faites à ma demande à Vercorin (1320 m) ont prouvé le calme régnant sur ce versant lorsque la lombarde sévit sur l'autre. Cette dernière qui est primitivement un vent du Sud glisse contre l'obstacle des Alpes bernoises qui lui imprime la direction d'Est; au Mont Lachaux (2264 m) elle vient de l'Est-Sud-Est.

Dans quelles conditions la lombarde se met-elle à souffler et que signifie-t-elle dans l'évolution du temps ? Je résume ce que j'ai précédemment établi en détail (19).

La lombarde apparaît dans trois situations météorologiques distinctes :

1) Circulation méridienne Sud-Nord ou type foehn, avec haute pression au SE et dépression quasi stationnaire dans un domaine compris entre la Mer du Nord et le Golfe de Gascogne;
2) Dépression active en Méditerranée occidentale ou en Italie du Nord;
3) Bordure Sud d'un anticyclone continental européen.

Dans le premier cas, le plus fréquent, ce sont donc les conditions propices au développement du foehn qui peut alors faire son apparition à Sierre; dans le deuxième le foehn est encore possible dans le Valais central, mais probablement pas dans le Bas-Valais; dans le troisième cas, assez rare (10 %), il n'est plus question de foehn.

En somme la lombarde, neuf fois sur dix, est un vent indiquant la possibilité de foehn dans la vallée du Rhône, mais elle n'est elle-même pas un foehn au sens strict du terme; elle ne le devient que lorsqu'elle descend jusqu'au fond du talweg en manifestant alors les propriétés caractéristiques du foehn, savoir la température relativement élevée et l'humidité relativement basse.

On trouvera plus loin une relation statistique entre la vitesse de la lombarde et celle du foehn proprement dit.

5. Les vents plongeants.

Ce qui a été dit plus haut au sujet des vents de travers à Sierre s'applique aux vents plongeants de Montana; il s'agit en effet du même phénomène. Ce sont les vents qui, par afflux actif d'air maritime-polaire ou subarctique en Europe centrale, franchissent la crête des Alpes bernoises et pénètrent plus ou moins bas dans la vallée du Rhône. Selon leur nature propre ce sont des *vents catabatiques* (Fallwinde).

Mais à Montana les vents plongeants sont plus fréquents et plus forts que dans le talweg rhodanien qu'ils n'atteignent que de temps à autre. Le tableau 20 montre que le nombre de leurs apparitions est trois fois plus élevé qu'à Sierre, mais que leur caractère saisonnier est le même ; c'est le mois de mai qui, avec 9 jours en moyenne, accuse le maximum.

Ces vents soufflent à Montana de préférence l'après-midi, comme à Sierre, mais on les observe aussi parfois le matin et même la

nuit au printemps. La plus grande intensité se place au milieu de l'après-midi; le vent mollit toujours le soir et cesse en général avant la nuit.

Tous les coups de vent de travers à Sierre, sans exception, ont correspondu à des vents plongeants à Montana, ce qui prouve l'unicité du phénomène. On peut dire que presque toutes les situations de barrage avec fort gradient transalpin de pression déclenchent à Montana des vents catabatiques dont la direction, aussi instable que la vitesse, varie continuellement entre le NW et le NE au cours d'une même journée.

La force de ces vents est parfois assez grande; j'en ai observés qui atteignent 30 à 35 km/h sur le rebord extérieur du plateau de Crans. En hiver, une neige très fine, issue du panache nuageux collé à la crête des Bernoises, trahit l'instabilité pseudolabile des couches moyennes, mais sur l'adret seulement : à Sierre et à Sion il ne tombe rien et le ciel est dégagé.

Il est fréquent en hiver de voir à 1500 m la neige tomber pendant des heures sans laisser de traces sur le sol, cela en raison de la sublimation rapide des flocons de neige par vent sec.

Voici dans trois exemples de bise forte au Nord des Alpes le régime de vent chaque fois différent en Valais. La bise du 20 au 23 décembre 1953 sur le Plateau ne troubla nullement l'alternance normale des brises de beau temps à Sierre; celle du 18 au 20 mai 1954 provoqua un vent d'aval permanent, sans complications. La période de bise du 11 au 20 avril 1955 fut marquée en Valais central par un vent d'aval quasi permanent depuis le 9 déjà, auquel s'ajoute dès le 10 du vent de travers de 10 à 25 km/h, de Nord-Ouest à Nord, chaque après-midi; on note à Montana des vents plongeants très vifs; le 17 les brises sont normales, mais les 18 et 19 le Nord-Ouest réapparaît par moments entre 15 et 19 h. Le 20 avril le régime des brises se normalise.

6. Les vents d'orage.

Comme à Sierre, mais beaucoup plus souvent, on observe à Montana des coups de vent éphémères lorsque des cumulonimbus orageux couronnent la crête des Alpes bernoises. La seule différence est que ces brèves surventes sont ici toujours dirigées vers le bas du versant et viennent par conséquent du Nord-Ouest, du Nord ou du Nord-Est, comme les vents plongeants dont elles n'ont pas la durée.

Les décharges froides des cumulonimbus sont nombreuses à 1500 m. Je ne les ai pas toutes notées, bien s'en faut; mais je puis affirmer qu'il est très peu de ces nuages, sièges d'orage ou non, qui ne donnent lieu à un souffle descendant plus ou moins long, plus ou moins fort.

TROISIEME PARTIE. LE VALAIS

I. Les brises.

1. La vallée du Rhone.

Le régime des vents à Sierre et à Montana ayant fait l'objet des deux premières parties, il convient maintenant d'élargir le domaine géographique et de considérer, dans la mesure du possible, les autres vallées du Valais. Une généralisation prudente est possible, contrôlée par des renseignements occasionnels recueillis ça et là et par les observations faites à Evolène dans le Val d'Hérens.

En ce qui concerne la *vallée du Rhône* elle-même, les observations de Sierre en sont suffisamment représentatives. Tout au plus doit-on admettre que d'un endroit à l'autre la vitesse des brises varie quelque peu en raison de la configuration locale du terrain. Il est probable que la brise diurne présente son plus grand développement dans les secteurs de Saint-Maurice-Vernayaz-Martigny d'une part et dans celui de Sion-Sierre-Viège d'autre part. L'incurvation du courant devant les Follatères est très nette : le vent décrit ici une vaste courbe qui de WNW l'amène à l'WSW à 2 km environ en amont de Martigny. La continuité du flux d'air tout le long de la vallée, du Léman à Brigue, ne fait pas de doute, avec de petites fluctuations de vitesse dues aux rétrécissements de la vallée. Mais il est très probable aussi que le tronçon en amont du coude de Martigny est partiellement alimenté de jour par l'air venant directement de la Savoie par le sillon de Chamonix.

La brise descendante nocturne est apparemment plus forte dans le Bas-Valais qu'à Sierre et à Sion; on l'appelle à Saint-Maurice le « vent du beau temps ». Sur le Léman, entre Villeneuve et Vevey, le « vauderon » du matin (SE) ride souvent le lac et constitue le prolongement de la brise valaisanne; il pourrait bien, semble-t-il, atteindre 7 à 8 km/h.

2. Le Val d'Hérens.

Dans cette vallée parcourue par la Borgne, longue de 30 km environ et orientée du SSE au NNW, au centre même des Pennines, le régime des vents est dans l'ensemble le même qu'à Sierre ou à Sion : brises alternées d'aval et d'amont par beau temps, aval dominant par courant général du Nord-Ouest en Suisse, foehn. Les brises normales sont assez bien connues et les mesures de température faites à Evolène ont fourni d'utiles renseignements sur le foehn.

Le Val d'Hérens à l'abri du vent général du gradient — la vallée est dans l'ensemble très peu ventée — voit s'installer dans

la belle saison les brises régulières de temps serein : de jour la brise remonte la vallée et donne son plein au milieu de l'après-midi; de nuit c'est la brise descendante, très faible, qui recueille l'air des versants et l'achemine lentement le long du talweg vers l'aval.

On ne possède pas de mesures de vitesse de ces brises alternées, mais l'expérience montre qu'elles sont moins fortes que dans la vallée principale. J'estime qu'on peut comparer leur intensité à celle de Montana; la brise remontante aurait par conséquent une vitesse de 10 à 15 km/h au plus l'après-midi.

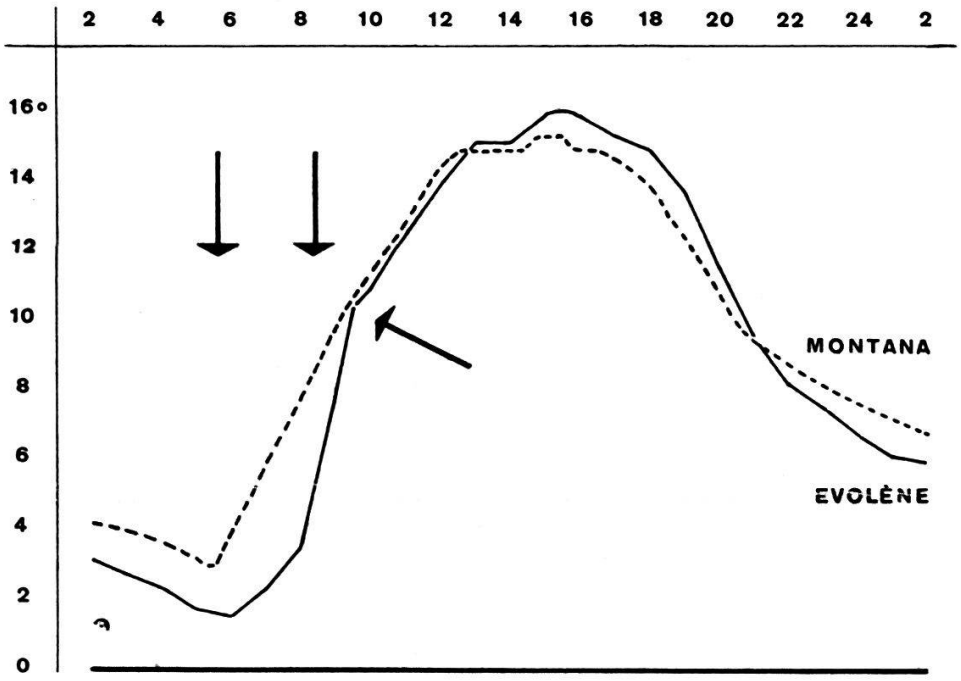

Fig. 7. — 9 mai 1954. Thermogrammes de Montana et d'Evolène. Les flèches verticales indiquent, de gauche à droite, le lever du soleil à Montana et à Evolène. Remarquer la brisure de la courbe d'Evolène vers 9 h 30 (flèche oblique), au moment où la brise de vallée engage.

La brise diurne dirigée selon l'axe de la vallée, le long de la Borgne, se prolonge obliquement de part et d'autre contre les versants; il y a donc divergence du flux d'air remontant les flancs montagneux. Toutefois, la brise est plus forte sur le versant ensoleillé : elle prédomine par conséquent le matin sur le versant de la rive gauche, l'après-midi sur celui de la rive droite.

J'ai pu faire au sujet de la *renverse* d'intéressantes constatations à Evolène (1370 m). Celle du matin a lieu peu après que le soleil ait atteint le fond de la vallée, c'est-à-dire environ 4 heures, en juillet, après le lever astronomique. Depuis le moment où le soleil frappe la partie supérieure du versant gauche, à 3000 m environ, la température commence à monter à Evolène qui se trouve encore

à l'ombre et où la brise de montagne calmit; puis la hausse de température, d'abord rapide, ralentit : c'est l'instant où la brise de vallée commence à souffler. J'ai montré précédemment (27) comment le phénomène s'inscrit sur le thermogramme par une brisure coïncidant à un quart d'heure près avec le début de la brise d'aval laquelle a pour effet de ralentir le réchauffement diurne par apport d'air légèrement refroidi par détente (fig. 7). Cet accident thermométrique aisément reconnaissable fournit le moyen de déterminer indirectement l'heure de la renverse à Evolène qui figure au tableau 26.

En comparant ces heures avec celles de Sierre (tableau 10), on constate qu'elles sont presque les mêmes, avec, semble-t-il, un léger retard de la vallée sur la plaine. En d'autres termes, la brise remontante diurne débute dans le Val d'Hérens à peu près en même temps que dans la plaine du Rhône à Sion et à Sierre, probablement un quart d'heure plus tard environ.

La brise nocturne à Evolène est faible; elle s'installe dès le coucher du soleil, ou plus exactement dès que la vallée se trouve en plus grande partie à l'ombre; elle dure toute la nuit et cesse peu avant l'heure de la renverse matinale définie ci-dessus. Cette brise nocturne, présente en juillet dès 19 h environ, est beaucoup plus précoce que celle de Sierre qui, à la même époque, s'installe deux heures plus tard.

Tel est le régime d'été en Hérens.

En hiver la brise diurne disparaît complètement, de décembre à février; le vent de vallée qui alors souffle de temps à autre est celui que commande un afflux général du Nord-Ouest dans les Alpes après le passage des perturbations frontales. La brise de montagne, elle, subsiste de nuit; le calme règne en général pendant le jour.

Les faits prouvent clairement la continuité du courant diurne de bas en haut : celui qui de jour remonte la vallée du Rhône glisse obliquement le long des versants et pénètre dans les vallées latérales où son cheminement affecte la même allure par un déploiement de part et d'autre en éventail jusqu'aux crêtes supérieures. Versants et vallées du Valais sont parcourus en été par le souffle ascendant des brises qui, en fin de course, donnent naissance aux cumulus des arêtes et des sommets.

3. Autres vallées.

D'après les observations visuelles faites à Zinal par M. I. Mariétan sur ma demande, les brises du *Val d'Anniviers* sont identiques à celles du Val d'Hérens ce que l'analogie de situation et d'orientation des deux vallées rend tout à fait plausible. Les renver-

ses se font en même temps en juillet; il n'y a pas de raison pour que ce ne soit pas le cas pour les autres mois. Cette ressemblance s'étend également au foehn.

Dans le *Saastal* et le *Mattertal* le régime des brises est sans doute le même dans l'ensemble. J'ai été frappé par leur intensité dans la partie commune sise entre Viège et Stalden où certaines complications sont possibles, en particulier lorsque le foehn se prépare. Au fond de toutes ces vallées, au voisinage immédiat des glaciers, souffle de jour une brise descendante qui n'est autre que l'écoulement vers le bas de la mince couche d'air froid refroidie au contact de la glace. Le comportement de ces brises tout à fait locales, observées un peu partout dans les Alpes, n'a pas été étudié en Suisse, à ma connaissance. Les *trois vallées des Drances* sont inexplorées; j'y ai toutefois remarqué la brise descendante dans la combe de Verbier et j'admets que l'alternance nycthémérale est ici aussi de règle.

La *vallée de Conches* (Goms) est longitudinale et de ce fait plus sensible au vent du gradient qui se manifeste par un renforcement de la brise d'aval. Le vent frais d'WSW s'observe déjà à Fiesch (der graue Wind) comme présage de mauvais temps d'après M. le Dr Volken qui m'a également signalé la présence caractéristique, paraît-il, de la brise nocturne et matinale ou vent du glacier provenant du Fieschertal et qui serait signe de beau temps (der heitere Wind). Plus on s'élève dans la vallée, plus le régime des brises se modifie au détriment du rythme alterné normal; à Gletsch le vent du gradient doit être dominant, du Sud-Ouest, et l'emporter sur tous les autres. J'ai pu me rendre compte, au passage, de la complexité des courants aux cols de la Furka et de l'Oberalp : les moindres changements du champ de pression peuvent avoir pour effet de modifier le sens du vent.

Dans la *vallée de la Dala* la brise ascendante diurne est très développée, au moins à l'entrée de la vallée; l'épanouissement en éventail de la brise qui remonte obliquement les deux versants au-dessus de Loèche est frappant. A Leukerbad même, la brise diurne semble minime; le vent le plus remarquable de l'endroit serait, m'a-t-on dit, celui qui descend de la haute muraille de la Gemmi et qui doit être l'analogue des vents plongeants observés à Montana.

Dans les vallées latérales du Bas-Valais (Trient, Illiez) l'orientation SW-NE impose un régime certainement moins régulier que dans les Pennines, et fortement influencé par le courant d'Ouest général. Le « vent de Morgins » en aval de Troistorrents est, paraît-il assez insistant; il déjette en tout cas certaines couronnes d'arbres vers l'Est. Là aussi des renseignements circonstanciés font défaut.

4. Remarques générales.

L'insolation joue dans la formation des brises locales un rôle de premier plan, dans ce sens qu'elle commande directement leur mise en marche. Non seulement l'heure de la renverse, comme on l'a montré, dépend étroitement des levers et couchers héliaques, mais encore la vitesse de la brise de vallée varie avec l'insolation elle-même.

J'ai constaté, tant sur le versant de Montana qu'à Evolène, qu'un passage nuageux ou un cumulus local masquant le soleil provoque aussitôt une chute de vitesse de la brise : celle-ci calmit et peut même cesser si le soleil, le ciel restant clair dans l'ensemble, est momentanément obscurci. Le phénomène est particulièrement net en Hérens, et d'une manière générale dans les hautes vallées. Les après-midi à forte convection locale sont nettement moins ventés que ceux où l'insolation est quasi intégrale. Si la convection se développe jusqu'au stade du cumulonimbus, non seulement la brise normale disparaît, mais elle fait place aux vents descendants issus de ces nuages-mêmes.

Dans le Val d'Hérens, comme dans les vallées parallèles, on observe par courant du secteur Nord en altitude un renforcement très notable de la brise remontante : le vent du Nord commandé par le gradient général de pression se superpose alors à la brise normale. Les habitants des vallées désignent par « bise » ce vent anormal, en général froid.

Rien ne permet de croire que les brises locales du Valais, ni dans la vallée principale ni ailleurs, fassent partie d'un système fermé avec courant de retour en altitude. Depuis Montana je n'ai jamais vu de brume ni de nuages à mi-hauteur pouvant trahir un quelconque courant de retour au-dessus de la vallée du Rhône. J'ai pu constater par contre à maintes reprises, grâce à des nuages ou à des fumées, qu'à partir du niveau moyen des crêtes bordant une vallée le vent général du gradient reprend tous ses droits et entraîne l'air de la couche supérieure dans la direction imposée par le champ général de pression.

Il faut à cet égard souligner que la vallée du Rhône du Valais central qui est orientée dans la direction du vent le plus fréquent (WSW) est soumise plus qu'une autre à l'influence du vent du gradient. Cela se traduit, par exemple, par la superposition du vent à la brise de même sens dans les situations à vent d'aval dominant mentionnées à propos du régime Sierrois : on a alors un vent de vallée plus fort que la brise normale, mais avec la même variation diurne de vitesse que celle-ci, c'est-à-dire avec maximum l'après-midi.

Enfin je relève le cas très fréquent où la lombarde souffle modérément au-dessus de 1000 m, alors que dans le talweg rhodanien la brise d'aval se maintient, affaiblie : dans la même vallée règnent alors deux courants de sens opposés, d'aval en bas, d'amont en haut. Mais cela n'a rien à voir avec une circulation fermée.

II. Le foehn.

1. Les vallées a foehn.

Après la description du foehn à Sierre dans la première partie, il sied d'élargir le cadre et de dégager les traits essentiels de ce vent dans le reste du canton dans la mesure où les informations sûres le permettent.

Fig. 8. — Les vallées à foehn en Valais. On remarquera les domaines de Brigue à Sion d'une part et de Martigny au lac Léman d'autre part, puis les vallées latérales des Pennines. La trajectoire de Saint-Maurice au Léman est également celle de la vaudaire d'orage. Pour les localités, voir la figure 1.

Il y a *trois domaines de foehn* plus ou moins indépendants : la vallée du Rhône comprend elle-même deux trajectoires distinctes, l'une allant de Brigue à Sion (vent d'ENE), l'autre de Martigny au lac Léman (vent du SSE) ; en outre il y a les vallées latérales de la rive gauche ayant chacune leur régime propre. Entre ces trois domaines il n'y a pas nécessairement, du point de vue aéro-

dynamique, de lien direct, ou si l'on veut de continuité. C'est ainsi que le foehn peut souffler à Sierre et à Sion, mais pas dans les hautes vallées ni en Bas-Valais; le foehn des vallées d'Anniviers et d'Hérens ne rejoint pas celui de la vallée du Rhône, ou du moins pas au sol, cela à cause sans doute de la forme légèrement convexe du profil en long de ces vallées dans leur section inférieure.

Ce qui a été dit plus haut du foehn à Sierre vaut pour tout le tronçon compris entre Brigue et Sion; ce vent s'observe à Brigue même et à Viège ce dont j'ai reçu maint témoignage; il descend du Simplon (2005 m), du Saastal et du Mattertal et s'avance jusqu'à Sion et un peu au delà.

Entre Sion et Charrat-Fully, le foehn est rare ou presque inexistant; le vent qui souffle avec force jusqu'à Sierre atteint encore Sion, mais pas toujours, puis s'élève obliquement le long du versant adret pour franchir la crête des Bernoises dans la région des Diablerets et des Dents de Morcles probablement, et réapparaître éventuellement comme foehn dans les vallées de l'Avançon et de la Gryonne. J'ai observé du foehn authentique à Villars sur Ollon comme vent du SE. La lombarde à Montana n'est pas autre chose que la partie supérieure de ce puissant courant de foehn venant frapper le versant Sud des Alpes bernoises.

La région abritée entre Sion et Martigny s'est curieusement manifestée le 2 janvier 1949 de la façon suivante : après un foehn fort qui s'était éteint dans la nuit du 1 au 2, la couche de neige avait entièrement disparu en amont de Sierre et sur le versant de la Noble Contrée; elle avait subsisté par contre en aval jusqu'à Saxon, mais avait aussi fondu entre Martigny et Aigle sous l'influence du foehn. A même altitude il y avait donc trois plages, deux sans neige encadrant celle du milieu qui en était encore garnie.

Le deuxième domaine de foehn commence à Martigny. Le vent du SSE provenant certainement des vallées des Drances et de celle du Trient souffle parfois avec violence dans l'étranglement de Vernayaz, apparaît fréquemment à Saint-Maurice d'après les données précises que m'a fournies M. Jacomet en 1947/49, descend la plaine du Rhône et, s'il est fort, gagne le Léman où il porte le nom de *vaudaire* comme un vent de même direction mais d'origine différente, la vaudaire d'orage ou de reflux (14). WILD a étudié en 1901 cinq cas de foehn où le Bas-Valais est nettement mais sommairement représenté (10). La vaudaire de foehn, capable de soulever de grosses vagues du SE sur le Léman, atteint quelquefois Lausanne et, rarement, Morges même qui se trouve à l'extrême limite de son domaine. En général, lorsque le vent est modéré, il atteint la région d'Aigle, puis disparaît au delà. J'ai observé par exemple le 28 octobre 1960 du foehn de 30 à 40 km/h à Aigle avec la belle

transparence de l'air qui le caractérise, puis deux kilomètres plus loin vers l'aval et jusqu'au Léman le calme et la brume du coin mort quasi stationnaire au-dessus duquel glisse le vent chaud. Pour une vitesse plus grande, la limite du foehn est repoussée sur le lac où M. Ogay a pu photographier le remous brumeux (26). Les mêmes phénomènes s'observent sur le lac des Quatre-Cantons et sur le lac de Zoug en Suisse centrale, et ailleurs encore.

En amont de Brigue le comportement du foehn est inconnu; d'ailleurs il n'y a plus de foehn proprement dit dans la vallée de Conches (Goms) prise par le travers ou de bas en haut en direction du col de la Furka. On sait que sur l'autre versant de celui-ci commence la trajectoire du foehn uranais et qu'au delà de l'Oberalp le vent descend la vallée du Rhin pour ne devenir foehn véritable qu'en aval de Disentis. Il faut aller jusqu'à Coire et au Rheintal saint-gallois pour retrouver une authentique vallée à foehn soufflant ici du SE à SSW selon les endroits.

Le Saastal et le Mattertal semblent exposés au foehn, mais les renseignements précis font défaut. Il est en tout cas reconnu que les précipitations orographiques sont abondantes au fond de ces vallées, sous le mur de foehn. Les portes d'entrée du Saastal sont plutôt basses : Monte-Moropass 2845 m, Mondellipass 2831 m. On remarquera cependant que le passage est situé huit cents mètres plus haut qu'au Simplon.

Les vallées d'Anniviers et d'Hérens sont peu visitées par le foehn qui franchit les déversoirs assez élevés du col Durand à 3455 m et du col de Chermontane à 3067 m doublés en arrière de crêtes plus élevées encore. Il y a à Evolène 8 à 10 jours de foehn par an (observations Vallette), donc trois fois moins qu'à Sierre. L'examen de quelque soixante cas montre que le foehn est d'autant plus probable dans le val d'Hérens que le gradient transalpin est plus élevé et que la direction du vent à 5000 m se rapproche du plein Sud. Il existe de beaux enregistrements de température à Evolène par foehn avec une hausse rapide au moment où le vent parvient au village; l'identification du vent chaud ne fait donc aucun doute. Le 9 décembre 1954, par exemple, le thermomètre est monté de dix degrés en une demi-heure au milieu de la nuit. A Evolène, comme à Sierre, le foehn ne dure en général que quelques heures. Dans la vallée voisine d'Anniviers, les conditions sont sans doute les mêmes.

Les vallées de Bagnes, d'Entremont et le val Ferret sont de nouveau plus exposés au foehn, semble-t-il, les cols étant à moindre altitude : Saint-Bernard 2469 m, col Ferret 2490 m; à la sortie de ces vallées le vent trouve une issue directe dans la vallée du Rhône orientée vers le NNW.

On ignore tout des vallées du Trient et d'Illiez où le foehn a certainement accès, mais sans réchauffement notable vu la faible altitude des cols : col des Montets 1461 m, col de Coux 1921 m.

2. Foehn et lombarde.

Lombarde à 1500 m (Montana, vent d'ENE) et foehn à 500 m (Sierre, vent du NE) sont un seul et même courant : en bas seulement il a les caractères propres du foehn. La liaison entre les deux vents apparaît dans les faits suivants mis en évidence par les observations parallèles de Sierre et de Montana.

a) Chaque situation synoptique de foehn provoque la lombarde à 1500 m; celle-ci souffle longtemps avant l'apparition éventuelle du foehn dans la vallée.

b) Il y a toujours de la lombarde à 1500 m quand le foehn atteint le talweg à Sierre.

c) Les vitesses des deux vents sont statistiquement liées.

Entrons dans le détail. Dès que le gradient transalpin trahit une surpression au Sud des Alpes, la lombarde se lève à 1500 m; elle se maintient jusqu'à la disparition de ce gradient. Il en résulte que la lombarde souffle longtemps avant que le foehn apparaisse à Sierre, parfois un jour ou deux; mais ce dernier peut fort bien ne pas se montrer du tout : lombarde sans foehn est donc possible. En revanche, il n'existe pas, en cinq ans d'observations continues et parallèles, de coup de foehn à Sierre sans lombarde simultanée à Montana.

A 2074 observations de lombarde correspondent pour la même période 346 observations simultanées de foehn; cela fait un rapport de fréquence de 6 à 1: la lombarde est six fois plus fréquente que le foehn.

Tout cela peut s'exprimer ainsi : pour qu'il y ait foehn à 500 m, il faut qu'il y ait lombarde à 1500 m, mais cette condition n'est pas suffisante; ou encore : le vent souffle en altitude longtemps avant d'atteindre le talweg.

J'ai essayé de préciser le lien statistique des vitesses respectives en haut et en bas en comparant tous les cas où il y avait simultanément lombarde et foehn. Le coefficient de corrélation vaut 0,64 (période 1953/59). Il y a plus.

Considérant toutes les mesures disponibles de vitesse de lombarde à 1500 m par situation de foehn (2074 obs.) d'une part, toutes les mesures simultanées de vitesse du foehn à 500 m dans la même période de 75 mois (363 obs.), j'ai exprimé le rapport des fréquences des secondes aux premières par classes de vitesse à 1500 m. Le calcul vise à manifester la dépendance du foehn du talweg à l'égard

du vent de même direction à moyenne altitude dans la vallée; il exprime, en d'autres termes, dans quelle mesure le foehn dépend de la vitesse du vent à 1500 m. Le résultat est intéressant; il est donné par le tableau 21 et illustré par la figure 9.

On constate : 1) que le foehn du talweg est d'autant plus fréquent que le vent à 1500 m est fort; 2) qu'à partir d'un seuil de vitesse de 55 km/h le vent d'Est à 1500 m est toujours générateur de foehn au fond de la vallée. Ainsi se précise un point important du mécanisme selon lequel, en opposition avec le principe fondamental de la statique des gaz, le foehn chaud pénètre jusqu'au fond des vallées. Aussi bien le phénomène n'est-il nullement statique, mais essentiellement dynamique; l'air chaud du foehn remplace l'air plus froid du talweg lorsqu'il est animé d'une vitesse suffisante et en raison même de cette vitesse.

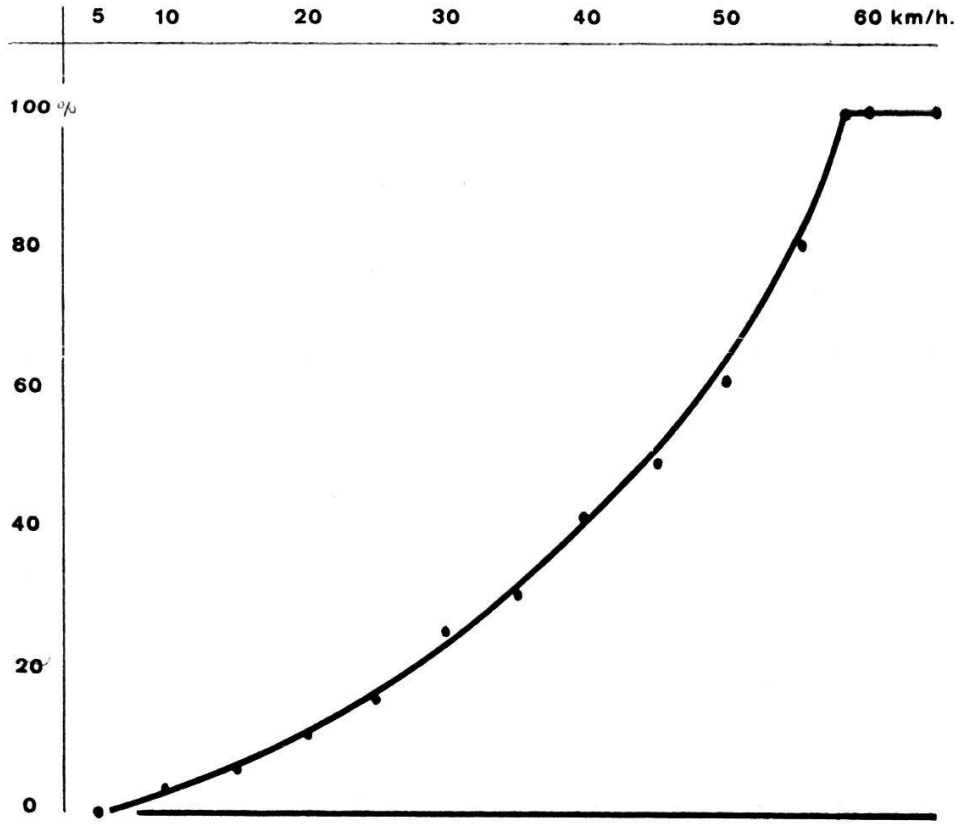

Fig. 9. — Fréquence du foehn à Sierre (500 m) en fonction de la vitesse de la lombarde à Montana (1500 m), en pour cent (tableau 21).

Or la probabilité que l'équilibre statique préexistant soit rompu par l'apparition du vent chaud dans le talweg croît rapidement avec la vitesse du vent régnant à mi-hauteur dans la vallée. C'est là ce qu'indique nettement le tableau 21. Ce fait d'expérience semble fournir en définitive un argument en faveur de la théorie esquissée par Schweitzer (7) qui introduit la notion de vitesse critique à par-

tir de laquelle le foehn deviendrait possible; les points de vue convergent.

Qu'une telle vitesse critique existe n'est pas certain; le calcul statistique ne la met en tout cas pas en évidence. Le seuil de 55 km/h qui ressort des données ci-dessus est peut-être particulier aux conditions topographiques locales et dépend aussi de l'excellence des mesures de vent au sol toujours difficilement correctes. Il semble acquis cependant qu'à vitesse croissante du courant supérieur de la vallée le foehn devienne de plus en plus probable et qu'il dépende essentiellement de celle-ci.

En bref, *l'existence préalable d'un vent d'amont (lombarde) au-dessus de 1000 m est une condition nécessaire de l'apparition du foehn au fond de la vallée ; cette apparition est alors d'autant plus probable que la vitesse du courant supérieur est grande, et elle est assurée à partir d'une vitesse minimum qui, dans les conditions expérimentales présentes, est de 55 km/h.*

Ainsi se confirme ce que j'avais déjà cru pouvoir avancer en 1951 lors d'une étude préliminaire sur la base d'un matériel alors très insuffisant (19).

3. Foehn et gradient de température.

Si le lien de vitesse entre foehn et lombarde n'est que statistique, cela prouve que la vitesse n'est pas le seul facteur en jeu; elle est déterminante, mais non suffisante. La périodicité diurne du foehn avec maximum de fréquence vers 17 h à Sierre ainsi que sa préférence pour le printemps font penser au rôle complémentaire de l'équilibre statique de l'air de la vallée, c'est-à-dire à sa stratification thermique assez bien représentée par le gradient vertical de température.

Or celui-ci est affecté, lui aussi, d'une périodicité diurne et saisonnière. Si l'on consulte le tableau 22 et la figure 10, on verra que le gradient moyen de température entre Sierre et Montana est toujours plus élevé au milieu du jour que le matin ou le soir et qu'il est maximum aux mois d'avril et de mai. Ce sont précisément les moments du jour et de l'année où le foehn, à Sierre du moins, est le plus fréquent. Une relation semble donc exister entre l'apparition du foehn et le degré de stabilité de l'air de la vallée. Et comme à gradient vertical croissant correspond une moindre stabilité et vice versa, on peut résumer en disant que *le foehn est d'autant plus probable dans le talweg que l'air préexistant est moins stable.*

Une fois le foehn engagé, le gradient croît et tend vers la valeur adiabatique de un degré par hectomètre; le fait se vérifie aisément entre Sierre et Montana comme j'ai pu le constater.

Le rôle du gradient vertical de température a été souligné en 1950 par HOINKES (4) qui a remarqué que l'accroissement du gradient pouvait favoriser l'apparition du vent chaud au fond des vallées et en a donné un exemple.

La couche d'air froid reposant au fond de la vallée longitudinale du Rhône pendant la nuit est peut-être particulièrement stable et plus résistante au balayage par le foehn que dans les vallées ouvertes vers le Nord, orientées dans la direction du courant supérieur. On doit cependant relever que dans deux vallées dirigées du Sud au Nord, l'Oberallgäu en Haute-Bavière (5) et le Salzachtal, comme dans celle de l'Inn à Innsbruck (3) qui est longitudinale comme le Valais, on observe la même préférence pour le lever du foehn en fin de matinée. Le cas de la vallée de la Reuss plus accessible, semble-t-il, au foehn de nuit demande nouvel examen.

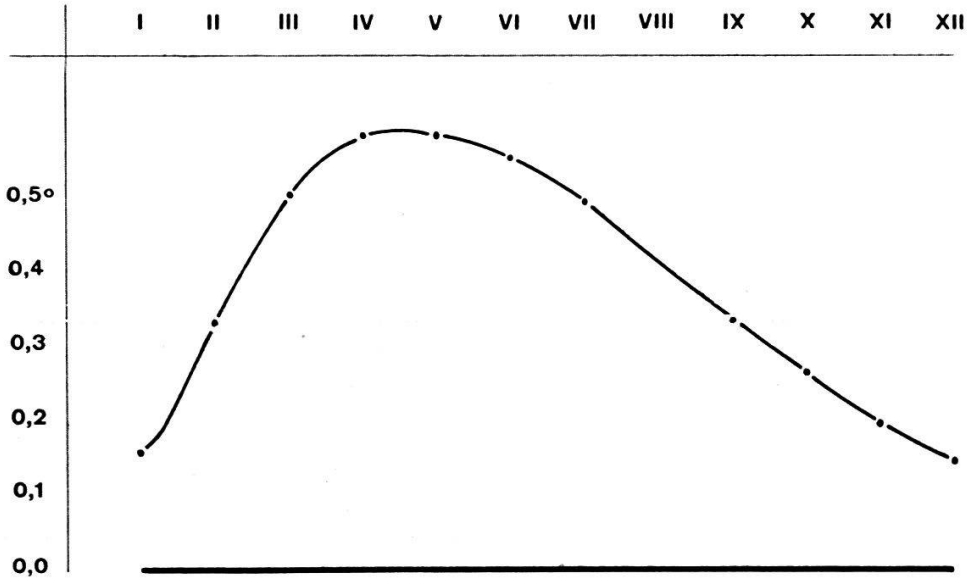

FIG. 10. — Gradient vertical de température entre Sierre et Montana (1000 m d'écart) en degrés par hectomètre : variation annuelle (tableau 22).

En conclusion, je note qu'à la condition de vitesse du courant supérieur (lombarde) s'ajoute celle de l'instabilité de l'air que le foehn doit chasser devant lui.

Une remarque encore à propos du tableau 22. Les gradients moyens donnés sont systématiquement plus faibles que ceux que j'avais calculés entre Sion et Montana précédemment (32). Je ne me prononce pas sur la valeur absolue de ces gradients. Leurs fluctuations seules importent dans la perspective ici adoptée; elles sont les mêmes dans les deux cas, et la variation annuelle est fidèlement reproduite.

4. Le ciel de foehn.

Les ciels de foehn en Valais sont complexes et en somme peu typiques. Il faut distinguer entre nuages moyens et supérieurs dépendant de la conjoncture générale et nuages orographiques accrochés aux crêtes.

Il arrive que le foehn règne par ciel serein, mais en général il existe une nappe d'altostratus plutôt mince, très variable en étendue et en densité, parfois doublé de cirrostratus; dans certains cas l'altostratus très dense et bas se fond dans le mur de foehn. Des fractocumulus apparaissent ça et là, parfois de l'altocumulus, mais les formes lenticulaires sont rares. Il n'y a pas de lucarne de foehn proprement dite (Föhnlücke) puisque le recul par rapport au faîte pennin est insuffisant.

Les nuages orographiques constituent le mur de foehn bien connu dans toute la région alpine. Il apparaît tout d'abord comme une nappe très plate, stable, dépassant tout juste les cols les plus bas Simplon, St-Bernard) et manifestant très clairement le déversement de l'air vers l'intérieur des vallées; c'est la barre de fœhn. Plus tard, lorsque le gradient transalpin augmente, la barre devient muraille épaisse, diffuse et changeante, souvent mal délimitée en hauteur: la lombarde a fraîchi et le foehn peut apparaître dans les bas fonds.

Dans les cas de foehn bien établis, la région du Simplon et toute la crête frontière du Sud-Est valaisan sont complètement noyées dans une masse nuageuse épaisse donnant lieu à d'importantes précipitations et qui se maintient sans changement deux, trois jours de suite ou davantage. C'est en somme la limite septentrionale en terre valaisanne du vaste système nuageux qui au Sud des Alpes et au Tessin recouvre le pays et lâche sur lui les pluies abondantes que l'on sait.

Ces différents nuages m'ont permis dans certaines circonstances de déterminer la direction des courants à plusieurs étages; la distribution la plus usuelle se présente comme suit :

Talweg	NE
de 1000 à 2000 m	E
vers 2500 m	SE
vers 3000 m	S
vers 4000 m	SSW
au-delà de 5000 m	SW

Cette curieuse rotation de 180 degrés selon la verticale est typique pour le Valais central.

La répartition géographique des précipitations de foehn est également caractéristique. La zone pluvieuse, d'origine purement orographique, s'étend tout le long de la crête des Pennines, du Mont-Blanc au Simplon, couvre les Alpes Lépontiennes et la vallée supérieure du Rhône en amont de Brigue, longe la crête des Alpes bernoises du Lœtschental aux Diablerets. Le centre du canton reste sec. Cette disposition en fer à cheval peut se maintenir plusieurs jours de suite sans grandes modifications. La région du Simplon et les Lépontiennes reçoivent parfois de fortes quantités de pluie ou de neige lors des périodes prolongées de foehn, alors qu'à Sierre et à Sion le pluviomètre reste vide!

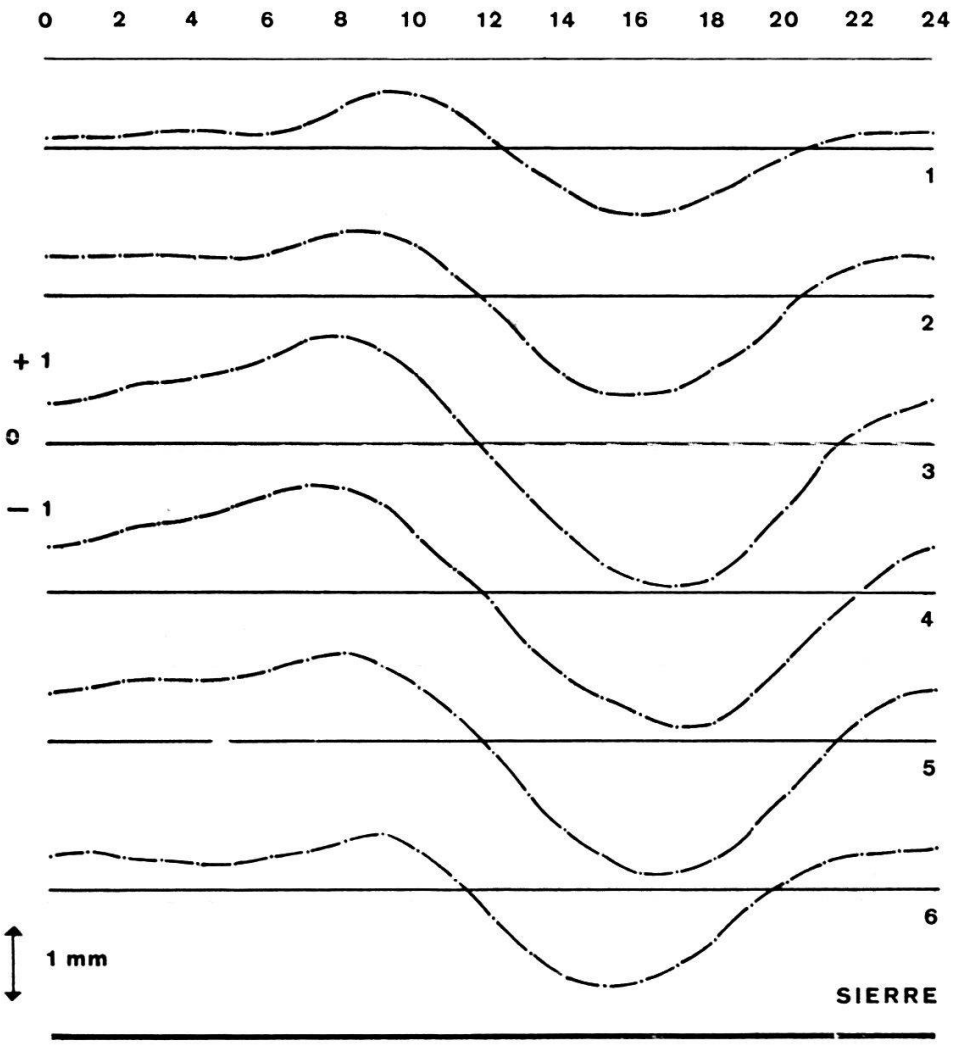

Fig. 11. — Sierre. Variation diurne de la pression par beau temps: écarts à la moyenne par groupes de deux mois. 1 = déc./janvier, 2 = févr./mars, etc. (tableau 23).

Je n'ai accordé dans ce qui précède aucune attention à ce que les météorologistes de langue allemande appellent de façon malheureuse « foehn anticyclonique » ou « foehn libre ». Le phénomène

ainsi dénommé n'est autre que la subsidence ou affaissement d'ensemble de la troposphère dans le domaine des anticyclones chauds; il n'a de commun avec le foehn qu'un réchauffement par compression adiabatique, mais s'en distingue radicalement pour le reste puisqu'il ne provoque pas de vent au sol, ne s'observe qu'en altitude, au-dessus du lac d'air froid des bas-fonds, et intéresse simultanément des aires très vastes, de l'ordre de la superficie de la France au moins. Aussi faut-il regretter l'usage allemand et conserver au phénomène le nom de subsidence également employé par les auteurs anglais qui lui convient beaucoup mieux et repose sur une étymologie correcte.

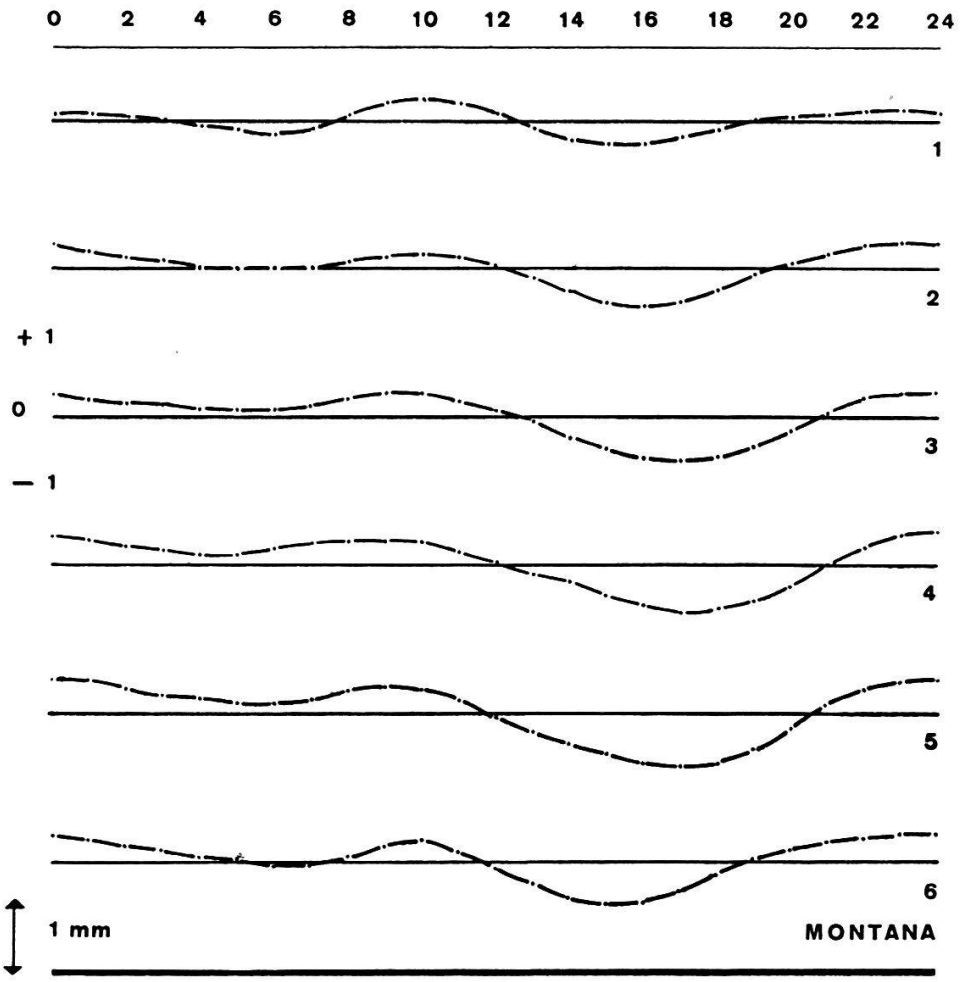

Fig. 12. — Montana. Variation diurne de la pression par beau temps: écarts à la moyenne par groupes de deux mois. Même groupement que pour la fig. 11 (tableau 23).

La subsidence s'observe, bien entendu, à Montana comme dans tout le domaine alpin et y produit souvent le ciel sans nuages, d'une absolue pureté, caractéristique de ces situations. La fréquence des jours intégralement sereins est donnée, à titre d'indication, par

la troisième ligne du tableau 18 où apparaît l'époque la plus favorable, soit l'automne et l'hiver avec deux à quatre jours par mois en moyenne.

III. La pression.

1. La variation diurne.

Le régime de brises normales de beau temps dépend évidemment du gradient de pression dans la vallée et entre celle-ci et l'extérieur. Aussi est-il utile de connaître les courbes diurnes de pression à Sierre et à Montana pour des jours de temps serein, exempts de toute perturbation locale (orage) ou à grande échelle (fronts); ce sont aussi les jours où les brises apparaissent dans toute leur pureté.

A cet effet, 150 jours répondant à ces conditions ont été sélectionnés, puis groupés par mois; les barogrammes des deux stations, contrôlés par des lectures directes, furent dépouillés et traités de façon à obtenir les écarts à la moyenne du jour, d'heure en heure, après élimination des variations à longue période. Le résultat figure dans le tableau 23 où n'ont été conservées que les valeurs de deux en deux heures et par groupes de deux mois. Les figures 11 et 12 reproduisent les courbes obtenues.

La variation diurne à Sierre est caractérisée par deux extrema bien marqués toute l'année : un maximum du matin et un minimum l'après-midi. A Montana il y en a quatre : deux absolus et deux relatifs. On remarquera la forte amplitude à Sierre et son accroissement de l'hiver à l'été; le petit tableau que voici la met en relief et donne également l'heure du maximum et du minimum de deux en deux mois.

Sierre. Amplitude barométrique et époques des extrema; jours sereins.

	Amplitude	Maximum	Minimum
Déc./janv.	1,7 mm	10 h	15 h
févr./mars	2,2	9	16
avril/mai	3,4	8	17
juin/juillet	3,2	7	17
août/sept.	3,0	8	16
oct./nov.	2,1	9	15

L'amplitude diurne à 500 m dans le Valais central par temps clair est passablement plus grande qu'à l'extérieur de la vallée, sur le Plateau suisse. J'ai montré ailleurs (22) que dans les mêmes conditions l'amplitude à Lausanne (550 m) était de 1,1 mm en hiver et de 1,5 mm en été seulement. La vallée du Rhône, entre Martigny et Brigue, enserrée entre deux hautes chaînes de montagnes pos-

sède évidemment son régime thermique propre, caractérisé par un refroidissement nocturne plus accentué des basses couches et un réchauffement diurne plus intense que sur la Plateau. Les versants montagneux jouent à cet égard un rôle double : celui de collecteurs de la pellicule d'air perdant de la chaleur par rayonnement nocturne et celui de radiateurs pendant la journée. Cela expliquerait l'amplitude anormalement forte de la variation diurne de pression à Sierre et à Sion. Le problème reste posé; il n'est pas très simple, mais les faits sont là.

2. Le gradient Sierre-Montreux.

La variation diurne de la pression à l'extérieur de la vallée étant plus faible au cours de la journée, il en résulte un gradient de pression alternativement dirigé vers l'aval et vers l'amont. De nuit la pression est plus élevée en Valais que sur le Léman; de jour c'est l'inverse qui se produit. Les inversions du gradient deux fois par jour doivent théoriquement coïncider à peu près avec les renverses de brises. Il en est bien ainsi comme le montre la figure 13.

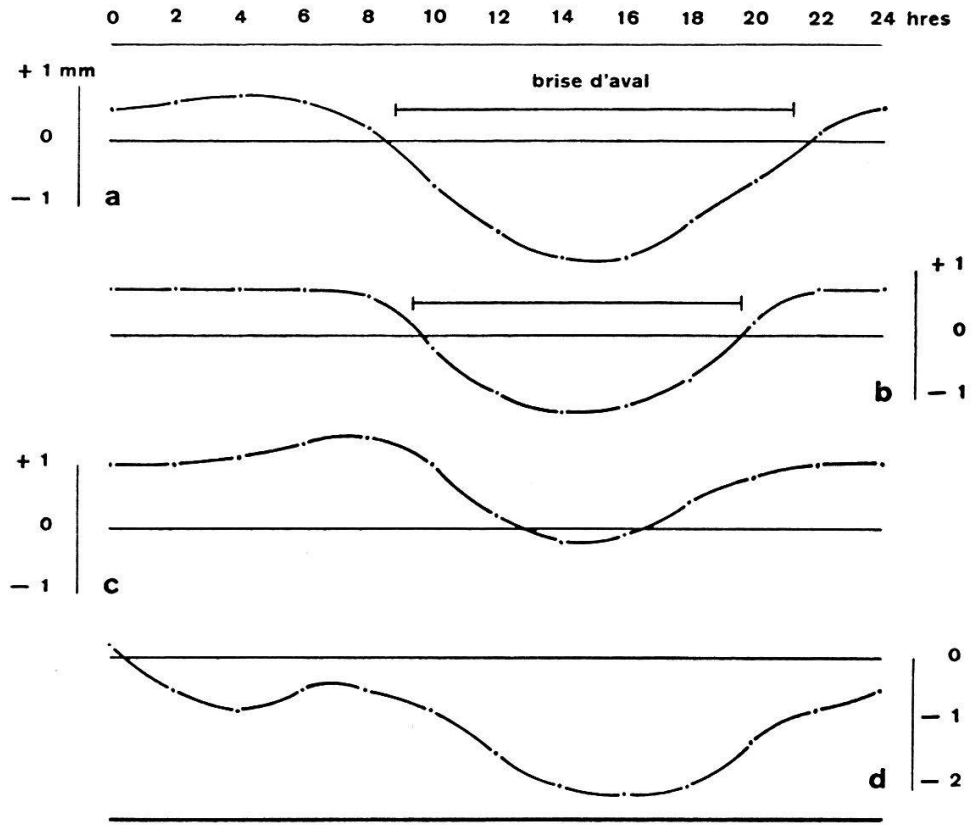

Fig. 13. — Gradient de pression entre Montreux et Sierre par beau temps : a) en été, b) en automne, c) en hiver, d) le 10 juin 1959 par vent d'aval permanent et ciel couvert. Le gradient est positif de Sierre à Montreux (tableau 25).

Des observations barométriques à Montreux en 1959 m'ont permis de calculer le gradient entre cette localité et celle de Sierre (76 km). Le tableau 25 donne de deux en deux heures la valeur du gradient calculé pour une dizaine de jours à trois époques de l'année ; il est positif pour la direction de Sierre vers Montreux.

On remarquera l'importance du gradient, sur 76 km, en été, qui entre 8,5 h et 21,5 h commande l'entrée de l'air en Valais; il atteint le maximum de 1,8 mm. Dans cet exemple la première renverse a lieu à Sierre à 8,8 h et la seconde à 21,2 h en moyenne; l'accord est excellent.

Dans l'exemple d'automne (10 jours également) le gradient vers le Valais dure moins longtemps et reste plus faible avec un maximum de 1,2 mm; les deux renverses coïncident exactement avec son annulation. En hiver enfin, le gradient ne s'inverse pour ainsi dire plus; sur les 10 jours en cause, il y en avait 6 en novembre avec brise d'une durée moyenne de 6,1 h, et 4 en décembre avec brise d'amont permanente.

Ces trois exemples de 10 jours chacun illustrent suffisamment le rôle du gradient régional de pression dans le régime alterné des brises de la vallée du Rhône. Ces résultats confirment et complètent heureusement ceux que Billwiller avait donnés en 1913 à partir d'un matériel très sommaire (2).

On conçoit aisément que les changements continuels du champ de pression en Europe centrale modifient aussi le gradient régional. En cas de haute pression au Nord (situation du NW ou de bise), le gradient Léman-Sierre est renforcé et le vent d'aval peut se maintenir tout le jour. La figure 13 en donne un exemple, celui du 10 juin 1959 où le gradient n'a pas changé de signe et où le vent d'aval a soufflé en permanence. Inversement, par situation de foehn, le gradient est en général dirigé vers l'aval, mais il est assez variable; le phénomène est moins simple et demanderait à être examiné de plus près. Comme je l'ai fait remarquer plus haut, le foehn à Sierre est précédé d'un vent d'aval faible; dans quelle mesure celui-ci est-il commandé par le gradient au sol ou par le courant supérieur de foehn? De plus amples recherches seraient nécessaires pour tirer au clair cette question.

Les valeurs du paramètre du développement en série de Fourier des courbes moyennes de pression qui viennent d'être discutées figurent au tableau 24. Le lecteur ne cherchera pas dans ces chiffres une précision trop grande; tirés de l'analyse harmonique de 25 barogrammes par groupes de 2 mois, ils ne prétendent qu'à donner un ordre de grandeur et l'allure des courbes d'écarts.

IV. Nuages, brouillard et orages.

1. Les cumulus locaux.

Il n'y a pas de formes nuageuses particulières au Valais où l'on observe entre autres et comme ailleurs dans les Alpes des nuages d'obstacles tels que les brouillards de versant, les petits cumulus des crêtes, les capuchons des hauts sommets et le mur de foehn aux contours diffus. Les « plus de 4000 » ont tous leurs panaches et plumets bien typiques matérialisant la direction du vent à leur niveau ainsi que les tourbillons d'obstacle.

Ce n'est pas quitter le domaine des vents que de considérer les *cumulus de beau temps* dont la présence sur les sommets alpins manifeste l'aboutissement des brises remontantes diurnes. En effet, au fur et à mesure que s'installent par temps clair ces courants ascendants dans les vallées et sur les versants, de petits cumulus apparaissent contre les pentes, grossissent et s'élèvent au cours de la journée pour disparaître le soir. Or dans les situations stables de temps serein et sec, le niveau où se forme le cumulus varie selon l'heure et la saison. J'ai consacré à l'altitude de base des cumulus et des cumulonimbus locaux une étude spéciale (36) dont voici l'essentiel.

Les cumulus des Alpes Pennines furent observés depuis Montana pendant plusieurs années et quatre fois par jour quant à l'altitude de leur base ou *niveau de condensation,* grâce aux repères nombreux qu'offrent les crêtes, les sommets et points marquants du relief en général. Les altitudes relevées et classées par étages de 500 m se distribuent comme suit (1126 obs.) :

Etages	Fréquence relative
41 à 45 hm	4,5 %
36 à 40	15,2
31 à 35	39,8
26 à 30	30,5
21 à 25	8,0
16 à 20	2,0

L'altitude moyenne de la base des cumulus s'établit à 3160 m sur mer; l'étage le plus fréquemment occupé est donc celui qui est compris entre 3000 et 3500 m. Il résulte de ces chiffres que les cumulus des Alpes Pennines se forment très haut; même en retranchant l'altitude de 500 m qui est celle du fond de la vallée du Rhône, on obtient un intervalle entre sol et nuage de 2500 m en moyenne générale, largement supérieur à celui que l'on admet d'ordinaire pour les cumulus de plaine. Roulleau et Trochon (6) don-

nent par exemple pour la France l'altitude moyenne de 1200 m pour les cumulus, et de 1000 m pour les cumulonimbus.

Le niveau de base des cumulus dépend très notablement de l'heure et de la saison. Le tableau suivant apporte les précisions nécessaires et illustre la variation tant diurne qu'annuelle de la hauteur.

Altitude absolue de la base des cumulus en Valais, en hectomètres.

Mois	9 h	12 h	15 h	18 h
mars	23,0	29,0	30,0	30,0
avril	25,5	31,0	32,0	32,0
mai	27,5	32,5	33,5	33,5
juin	28,5	33,0	34,0	34,0
juillet	29,0	33,0	34,0	34,0
août	29,0	33,0	34,0	34,0
septembre	28,5	32,5	33,5	33,5
octobre	27,0	31,0	32,0	32,0

De novembre à février il n'y a pratiquement pas de cumulus. Le niveau s'élève dans la matinée et se stabilise l'après-midi sans s'abaisser le soir; il est maximum en juin, juillet et août et se fixe en moyenne à 3400 m l'après-midi.

Il peut paraître surprenant qu'il y ait à 9 h. déjà des cumulus formés alors que, comme on l'a vu plus haut, la brise de la vallée du Rhône débute au plus tôt à 8,8 h en plein été et, par exemple, à 10 h seulement en avril et en septembre (tableau 10); la contradiction n'est qu'apparente. En effet, les premiers cumulus de beau temps se forment sur les versants, sous les crêtes, et doivent leur origine aux brises de versant proprement dites. Or à Montana, station type de versant, la brise diurne commence immédiatement après le lever du soleil, c'est-à-dire à environ 6 h 30 au début d'avril et à 5 h 20 au solstice d'été. Il est donc tout-à-fait normal que les premiers cumulus locaux apparaissent dès le début de la matinée, en général entre 7 et 8 h en plein été, lorsque la brise de versant a atteint une vitesse notable.

2. Le brouillard a Montana.

La distribution géographique du brouillard en Valais a été décrite précédemment (21), aussi n'y a-t-il pas lieu d'y revenir, sinon pour rappeler la rareté du phénomène dans la vallée du Rhône (5 à 10 jours par an) et dans les Pennines (10 à 15 j.), ainsi que sa fréquence rapidement croissante avec l'altitude : 150 jours à 2500 m, 210 j. à 3500 m et 260 j. à 4500 m.

Une série de dix ans d'observations à Montana a fourni la matière du tableau 18 relatif à la fréquence du brouillard, lequel

apparaît en toutes saisons avec maximum peu marqué d'octobre à décembre. Le total annuel de 80 jours peut paraître élevé; pour en mieux juger, il faut dire qu'il comprend tous les jours « où il y a eu du brouillard », quelle que soit sa durée. Or sur ces 80 jours, il y en a 35, soit le 44 %, au cours desquels le brouillard a duré moins d'une heure, et il y en a 11 seulement où il s'est maintenu plus de six heures. Cela donne une plus juste idée du phénomène qui en réalité joue à Montana un rôle secondaire, ce que prouve en outre le très petit nombre de cas de givre en cet endroit.

Les catégories de brouillard observées à Montana sont les suivantes : brouillard de versant ou de convection, 28 %, brouillard de mauvais temps ou de mélange, 49 %; brouillard d'inversion ou de rayonnement, 23 %.

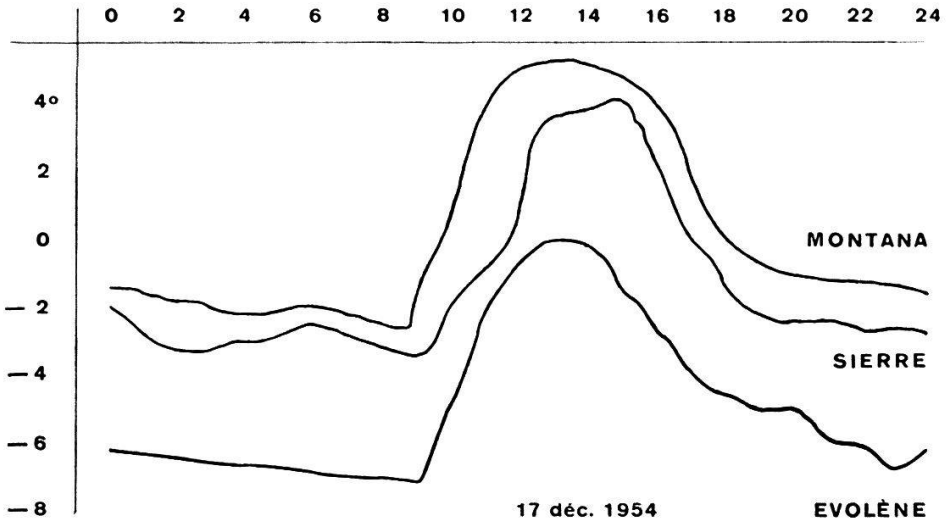

Fig. 14. — 17 décembre 1954. Thermogrammes de beau temps à Sierre (500 m), à Evolène (1370 m) et à Montana (1500m). Remarquer la température relativement élevée à Montana situé au-dessus de l'inversion et le contraste entre le régime de versant (Montana) et celui des vallées du Rhône et d'Hérens.

Le *brouillard de versant* est celui qui se forme après la pluie, au moment de l'embellie, lorsque s'essuient les prés et les forêts détrempés. C'est un nuage très bas, se formant vers 1000 m, puis s'élevant au fur et à mesure que se réchauffent les pentes exposées au soleil. A 1500 m ce brouillard est éphémère, dure quelques minutes à une demi-heure au plus; plus haut par contre, il se stabilise et colle plus longtemps au flanc des montagnes vers 2000 m.

Le *brouillard de mauvais temps* (ou de mélange) est le plus fréquent. Il trahit l'arrivée de masses d'air plus froides et s'observe presque toujours au passage des fronts froids pénétrant en Valais

dont il est un révélateur subtil et sûr; il apparaît aussi au moment des grains orageux; il est présent de façon intermittente pendant les chutes prolongées de neige.

Le *brouillard d'inversion* ou de rayonnement enfin n'est autre que la couche de stratus de la vallée pouvant se former surtout de septembre à mai, mais aussi de temps à autre en été à l'altitude de 1500 m; c'est de novembre à janvier qu'il est le plus fréquent. C'est le brouillard le plus durable, car une fois formé il peut se maintenir plusieurs jours de suite. Rappelons à ce propos la série de brouillard tenace du 5 au 10 avril 1954 : le brouillard de mauvais temps puis le stratus qui pénétra alors jusque dans les vallées pennines même totalisèrent environ 90 heures d'enveloppement compact. De telles séries sont rares.

3. La mer de brouillard.

Lorsque le stratus se forme au-dessous de 1500 m, il apparaît à Montana comme mer de brouillard dans la vallée du Rhône. Ce beau spectacle n'est cependant pas fréquent puisqu'il se présente en moyenne 7 fois par an seulement, et cela de septembre à avril uniquement. Depuis Leysin (1400 m) dans les Préalpes vaudoises on l'observe quatre fois plus souvent dans la plaine du Rhône, à savoir 30 fois par an (tableau 18). Ces chiffres illustrent la différence bien connue entre le Valais central jusqu'à Saint-Maurice d'une part et la plaine alluviale de là au Léman d'autre part. Dans la première partie le brouillard élevé est rare; dans la seconde il trouve des conditions plus favorables à son maintien; plus loin, vers Lausanne et Genève, le stratus est encore plus stable et plus durable. C'est un fait d'expérience courante qu'en hiver on peut voyager sous la couche nuageuse compacte depuis Lausanne, la voir se trouer depuis Aigle ou Bex, puis disparaître totalement dès le défilé de Saint-Maurice. Sur une distance d'un kilomètre à peine l'aspect du ciel change complètement : on passe en quelques minutes des embruns grisâtres du Plateau au soleil du Valais.

Quelques exceptions confirment la règle! Il faut citer l'arrière-automne de 1958 qui troubla les Valaisans du bas par son comportement inhabituel. Une première série de stratus d'inversion stable eut lieu du 22 au 30 octobre, réduisant à une vingtaine d'heures l'insolation sur le Plateau; à Sion, avec 64 heures, le ciel resta clair selon l'usage. Mais du 14 novembre au 8 décembre, une vaste nappe d'air humide et quasi immobile recouvrit tout le centre de l'Europe et la Suisse. La couche de stratus fut cette fois-ci plus durable, plus dense et pénétra dans toutes les vallées alpines. En 24 jours la région du Léman n'eut qu'une trentaine d'heures de soleil, Genève 12 seulement; à Lucerne l'astre du jour

ne se montra plus du tout du 18 novembre au 7 décembre ! En Valais, Sion fut privé d'insolation du 23 au 28 novembre, mais enregistra dans l'ensemble 68 heures contre 148 à Montana resté en permanence au-dessus du brouillard.

La raison pour laquelle le stratus se raréfie dans les vallées de l'intérieur du massif alpin est mal connue. Il existe pourtant dans ces vallées comme sur le Plateau, une couche froide plus ou moins épaisse des bas-fonds, limitée vers le haut par une inversion de température. Cette condition n'est toutefois pas suffisante pour la formation du brouillard. Il est probable que le bilan de rayonnement diffère notablement de celui des plaines par suite de l'apport des versants; l'effet de cuve se manifeste, comme on l'a vu plus haut, par l'amplitude anormalement grande de la pression au cours du jour. Des mesures fréquentes, très rapprochées dans le temps, de la température, de l'humidité et du rayonnement à plusieurs niveaux dans une vallée alpine et son avant-pays seraient nécessaires pour permettre des conclusions. Les observations usuelles des postes climatologiques sont à cet égard tout-à-fait insuffisantes: une technique plus fine et plus précise s'impose.

Le *givre* est rare à Montana puisque en douze hivers je ne l'ai noté que 64 fois, c'est-à-dire 5 fois par hiver en moyenne, et cela d'octobre à avril seulement (tableau 18).

4. L'orage.

Situé au cœur des Alpes, le Valais appartient avec les Grisons à la zone la moins orageuse de la Suisse comprise entre le Plateau où les grains se propagent plus facilement et le Tessin, très riche en manifestations électriques.

Plusieurs études antérieures rendent possible une comparaison du Valais avec ses régions limitrophes (33). Je désigne ici, comme précédemment, par jour d'orage tout « jour civil au cours duquel on a entendu du tonnerre ». A partir de cette définition, la climatologie orageuse de Montana se résume par le tableau 18 qui fait apparaître une moyenne de 21 jours d'orage par an, les mois de juillet et août étant les plus fournis.

Vu la structure géographique du Valais et son compartimentage, les observations faites en un lieu ne sont représentatives que d'une région assez limitée, surtout en ce qui concerne l'orage sur la répartition duquel le relief exerce une grande influence. Montana à cet égard illustre les conditions du versant méridional des Alpes bernoises et nullement celles du fond de la vallée où malheureusement les données exactes font encore défaut. A Evolène dans le Val d'Hérens, il est certain maintenant que la fréquence orageuse est de l'ordre de 12 jours par an.

Un profil allant du Jura (Le Sentier, Vallée de Joux) au Tessin en passant par Lausanne, Leysin dans les Préalpes vaudoises et le Valais montre très clairement le minimum alpin tel qu'il se présente entre Mont-Blanc et Gothard.

Jours d'orage. Profil NW-SE

Le Sentier	(1025 m)	36 jours par an
Lausanne	(500 m)	30 » » »
Leysin	(1350 m)	26 » » »
Montana	(1500 m)	21 » » »
Sion	(500 m)	15 » » »
Evolène	(1370 m)	12 » » »
Locarno	(350 m)	45 » » »

Aux deux extrémités du profil le Jura et le Tessin apparaissent comme les régions les plus orageuses; le sillon rhodanien accuse le minimum, et cela dans les vallées des Pennines.

Le Bas-Valais, entre Vernayaz et Aigle, est sans aucun doute plus orageux que le centre du canton; je lui avais attribué une fréquence de 24 jours par an au moins. Il est bien connu et facile à vérifier depuis Lausanne et Montreux qu'il existe une trajectoire orageuse très fréquentée, celle qui va des Préalpes de Savoie aux Préalpes vaudoises et fribourgeoises. Une deuxième trajectoire, moins usuelle semble-t-il, va des Aiguilles Rouges de Chamonix aux Alpes bernoises; une troisième, encore moins parcourue, est jalonnée par le Mont-Blanc, les Pennines et le Simplon. Près des deux tiers des orages du Valais viennent de la Savoie; certains viennent du Nord-Ouest et pénètrent dans le Bas-Valais en venant du Léman, mais ce cas est rare.

La *variation diurne* de l'activité orageuse en Valais est représentée par le tableau 14. Le contraste entre le matin et l'après-midi est remarquable : l'orage est rare entre 0 et 10 h, devient plus fréquent à partir de là et sévit le plus souvent aux environs de 17 h (16 h 30 en temps local moyen). Le 84 % des orages a lieu dans la deuxième moitié du jour, c'est-à-dire au moment du plein développement des nuages à structure verticale, les cumulus et cumulonimbus. Sur le Plateau le maximum de l'après-midi est plus étalé que dans les Alpes, et au Sud de celles-ci davantage encore puisque la probabilité d'orage est pratiquement la même de 14 à 22 h.

5. La vaudaire d'orage.

Il est un phénomène en relation étroite avec les orages valaisans et qui se manifeste dans la partie basse du canton : je veux dire la vaudaire d'orage sur laquelle le lecteur trouvera des détails cir-

constanciés dans des mémoires antérieurs (14, 17, 20). Je rappelle ici l'essentiel de ce vent très curieux mentionné autrefois par F. A. Forel et qui semble obéir à un mécanisme simple conditionné par le relief local.

La vaudaire est un vent venant du Bas-Valais et se déployant sur le Haut-Lac Léman comme vent du SE. Il peut atteindre dans certains cas une vitesse élevée, de l'ordre de 40 à 50 km/h. Toutefois le vocable qui depuis longtemps fait partie du vocabulaire de la navigation sur le Léman couvre deux vents d'origine différente : le foehn dont j'ai parlé plus haut, et la vaudaire proprement dite ou vaudaire d'orage ou encore de reflux.

Alors que le foehn descend des Alpes qu'il a escaladées depuis le Sud, la vaudaire d'orage, elle, prend naissance dans la vallée du Rhône, plus exactement dans la région de Saint-Maurice à peu près, tantôt un peu plus haut, tantôt un peu plus bas. Elle est due à la décharge froide des cumulonimbus orageux ou simplement pluvieux qui visitent la région; elle apparaît parfois après le passage en Valais de grains orageux accompagnés d'une hausse momentanée de pression.

Le Bas-Valais, comme il a été dit, est fréquemment traversé d'Ouest en Est par des orages ou des averses à caractère orageux; les nuages qui les provoquent lâchent un paquet d'air froid qui atteint le sol et ne trouve dans la basse vallée du Rhône une issue que vers le Léman : d'où le coup de vent qui parvient au large de Montreux une demi-heure environ après le passage au Sud de l'orage générateur. Le phénomène est si régulier qu'à l'aspect du ciel en Savoie ou sur la plaine du Rhône ou peut prévoir le coup de vaudaire sur le lac à un quart d'heure près. Ces coups de vent, parfois très courts, peuvent durer une heure ou deux; ils soulèvent de grosses vagues se propageant du SSE vers le NW.

J'ai montré comment le décalage dans le temps des hausses passagères de pression accompagnant un grain intéressant le Valais et la région du Léman crée un gradient local de pression dirigé de la grande vallée vers le lac et déclanche de la sorte les rafales de vaudaire.

Ce vent purement régional (cas de foehn exceptés) compte parmi les plus intéressants qui se puissent observer en Suisse.

6. La grêle a Montana.

Pour clore ce chapitre consacré à l'orage, je verse au dossier encore très incomplet de la grêle en Suisse la petite statistique de Montana (tableau 18) où en 11 ans je n'ai relevé que 15 cas de grêle, et encore s'agit-il de chutes de peu d'importance; les totaux du tableau 18 ramenés à 10 ans montrent le rôle secondaire de la

grêle en Valais comparé à d'autres régions de Suisse plus exposées à ce météore.

En 50 ans (1901-1950) la statistique de Sion (Annalen d. schweiz. met. Zentralanstalt) ne signale que 10 cas de grêle, ce qui paraît minime. Même si ce nombre est un peu faible, il n'en reste pas moins certain que la grêle dans la vallée du Rhône, dans la région de Sierre et de Sion, est un phénomène exceptionnel. Il l'est probablement un peu moins en Bas-Valais, puisque l'orage y est aussi plus fréquent.

V. Le temps.

1. Temps et relief.

Dans l'évolution du temps, jour après jour, il y a entre le Valais et le reste de la Suisse des différences souvent importantes dues à son relief, en particulier aux modifications apportées aux vents et aux systèmes nuageux par les hauts remparts encerclant le pays. A ne considérer que les précipitations moyennes qui se font rares et maigres plus on remonte le cours du Rhône, on discerne déjà dans quelle mesure la morphologie terrestre conditionne le climat : unité géographique, le Valais est aussi unité climatique.

Une répercussion directe du modelé alpin sur le temps est évidemment le foehn, tant dans sa genèse même liée à un changement d'altitude des courants aériens que dans ses directions obligées le long des vallées. Il existe parfois dans les situations de foehn d'assez vifs contrastes entre le Valais et l'extérieur. En effet, lorsque la poussée d'une masse d'air froid et humide coiffe le Plateau d'un ciel bas accompagné de pluies persistantes, la vallée du Rhône balayée par le vent chaud reste absolument sèche avec sa couronne de nuages garnissant les crêtes. Pluies d'ascendance orographiques sur la haute barrière des Pennines, sécheresse ventée du centre, temps bouché et pluvieux de la région du Léman réalisent alors sur un court espace trois types de temps contrastés du plus curieux effet.

Mais l'effet le plus frappant et le plus caractéristique du relief sur le temps est certainement l'incurvation vers le bas des courants provenant du Nord au-dessus du sillon rhodanien : les lignes de courant dirigées du Nord-Ouest au Sud-Est s'infléchissent « sous le vent » des Alpes bernoises pour s'élever à nouveau au-dessus des Pennines où la composante descendante reste pourtant encore sensible. Cette incurvation, même faible, suffit à dissoudre les nuages d'instabilité de ces situations et crée l'embellie classique du Valais après la rotation des vents au secteur Nord. C'est d'ailleurs la fonte même des nuages au-dessus de la vallée qui manifeste, à n'en pas douter, la déformation des filets d'air.

Les traits essentiels du temps en Valais pour cinq situations météorologiques définies font l'objet des lignes suivantes qui ne prétendent pas épuiser le sujet.

2. Type anticyclonique.

Anticyclone continental ou promontoire stable des hautes pressions subtropicales de l'Atlantique.

Temps clair en Valais comme ailleurs; en hiver ciel sans nuages assez fréquent. Brises de versant et de vallée bien développées en été, à peu près nulles en plein hiver. L'insolation quasi intégrale des régions basses en hiver est propre au Valais par suite de la rareté du stratus d'inversion.

3. Type Sud-Ouest.

Partie antérieure d'un couloir dépressionnaire à déplacement lent; vent du Sud-Ouest à 5000 m.

Ciel nuageux, rarement tout à fait clair, meublé d'altostratus mince, d'altocumulus et de fracto-cumulus; mur de foehn se développant en fonction directe du gradient transalpin. Situation propice au foehn. La lombarde souffle en permanence au-dessus de 1000 m: les brises normales sont effacées. Les précipitations sont purement orographiques et limitées à la crête des Pennines, à la région du Simplon, de la vallée de Conches et à la crête des Bernoises. Des perturbations frontales venant de l'Ouest sont naturellement possibles.

4. Type Ouest.

Gradient Sud-Nord: courant zonal d'Ouest bien développé (jet).

Le Valais est pluvieux comme le reste de la Suisse, de façon très atténuée si le pays reste en marge des perturbations atlantiques. En hiver, situation propice aux chutes de neige prolongées. Vent d'Ouest dominant en plaine (bise) et en montagne, mais passablement plus faible que sur le versant Nord des Alpes.

5. Type Nord-Ouest.

Courant du Nord-Ouest à Nord franc en altitude, en bordure orientale de l'anticyclone atlantique. Afflux d'air frais, instable.

L'instabilité pseudolabile caractérisant cette situation ne se fait que peu sentir en Valais où les averses sont rares. Les précipitations se localisent sur la crête des Alpes bernoises et une partie de leur versant méridional, parfois aussi, mais de façon très réduite, sur la crête des Pennines. Le centre du canton reste sec.

Vent d'aval dominant dans la vallée du Rhône; vents catabatiques possibles, surtout au printemps ; dans les vallées pennines, vent du Nord en hiver, brise remontante renforcée en été.

Le contraste entre le temps clair du Valais et le temps bouché, pluvieux, du Nord-Est de la Suisse est souvent remarquable. Un front chaud transporté par le courant du Nord-Ouest peut très rapidement assombrir le ciel en Valais qui dans ce cas subit le même sort que le Plateau.

6. Type méditerranéen.

Dépression active en Méditerranée occidentale ou en Italie du Nord; courant du Sud à Sud-Est au-dessus des Alpes qui se trouvent souvent à la limite entre deux masses d'air différemment tempérées.

La situation est mauvaise pour le Valais où peut régner un temps sombre et pluvieux; de fortes précipitations sont possibles. Toutefois l'influence de la dépression méditerranéenne dépend largement de son activité propre et de sa distance par rapport aux Alpes : forte si la première est grande et la seconde faible, elle diminue rapidement avec le vieillissement de la perturbation et son éloignement.

Les vents locaux et régionaux sont variables et irréguliers. Des coups de foehn à Sierre sont possibles.

7. Les passages frontaux.

L'étude des fonts froids au sol est encore à faire en Valais. La plupart d'entre eux atteignent la région et y manifestent leur activité par une aggravation du temps, de façon plus ou moins réduite par rapport à l'avant-pays.

Les *fronts chauds* ne provoquent pour ainsi dire jamais de hausse brusque de température dans les bas-fonds protégés par la pellicule d'inversion; le passage de la nappe nuageuse qui les caractérise s'observe par contre aisément en montagne où l'on suit d'un bout à l'autre l'évolution classique du cirrus au cirrostratus, puis à l'altostratus d'altitude décroissante qui se résout pour finir en nimbostratus; c'est dans la saison froide qu'apparaissent les plus beaux systèmes nuageux de fronts chauds.

Les passages de *fronts froids* ne sont pas toujours faciles à identifier sur les enregistrements de pression, de température et d'humidité par suite de la frontolyse qui est de règle dans les Alpes; les anémogrammes renseignent mieux grâce aux surventes révélant l'arrivée de l'air frais. Avec un peu d'expérience et en observant attentivement les formes nuageuses à tous niveaux, des brouillards de versant aux panaches orographiques, on arrive cependant à dé-

celer avec sûreté les accidents que constituent les fronts froids. Les chutes de température au sein des Pennines (Evolène) se font lentement de sorte qu'il est plus exact de parler de couche de transition assez profonde que de discontinuité proprement dite.

Un problème intéressant est celui-ci : par quel chemin l'air froid pénètre-t-il en Valais ? Il y a quatre possibilités indiquées par l'expérience : 1) l'air froid remonte la vallée du Rhône, du Léman à Brigue et au-delà; 2) venant de la Savoie, il franchit les Alpes à l'Ouest et passe du sillon de Chamonix à la vallée du Rhône à Martigny et la remonte ; 3) il parvient du Nord-Ouest et pénètre en Valais en passant par dessus les Alpes bernoises; 4) par situation de foehn et lombarde, il se mêle à ce courant d'Est qu'il refroidit par mélange.

Il est clair que l'air froid neuf peut emprunter plusieurs des chemins décrits à la fois. Il n'est pas douteux en effet que certains fronts « attaquent » le Valais tant par la vallée que par les cols venant de France. J'ai observé d'autre part des passages où il fallait admettre une invasion froide se faisant simultanément par la vallée et par dessus l'obstacle bernois. Mais les cas les plus complexes et les plus difficiles à analyser sont ceux qui se produisent par situation de foehn: les faits ne peuvent, semble-t-il, s'interpréter qu'en supposant une trajectoire compliquée de l'air froid venant se mêler à la lombarde qui mollit momentanément et fraîchit de nouveau plus tard. Ces refroidissements par vent d'Est en Valais sont des plus curieux; leur étude complète exigerait un réseau de stations plus denses et équipées d'un matériel donnant avec sûreté les indications nécessaires.

VI. Remarque finale.

Les poètes ont inventé les saisons; les astronomes leur ont assigné des limites précises et arbitraires; ni les uns ni les autres n'ont su ce qu'était une saison, et les météorologistes affirment qu'il n'y en a pas, ce en quoi ils n'ont pas tort.

Il y a des mois chauds et des mois froids, du beau et du mauvais temps, de la neige et du brouillard dans un pêle-mêle organisé mais dont l'ordre n'est pas celui que voudrait une tradition vivace mais non fondée. Si l'on renonce à donner aux saisons un visage unique de convention, on les gardera par commodité avec l'extrême variété de leurs aspects.

Une chose est certaine, c'est que la symétrie que confèrent à l'année une époque plutôt chaude appelée été et une autre plus froide appelée hiver n'est qu'apparente. Le printemps et l'automne ne se ressemblent guère et s'opposent même l'un à l'autre; de plus,

le printemps, pas celui du retour des beaux jours et de la chaleur ni même celui du renouveau qui se rit du calendrier, mais simplement et conventionnellement les mois de mars, d'avril et de mai, joue un rôle tout particulier que le lecteur aura peut-être remarqué en cours de route, mais dont la portée est plus générale. Que l'on juge plutôt.

C'est en *avril* et en *mai* que s'observe en Valais le *maximum* de l'amplitude de la variation diurne de pression, de la vitesse moyenne du vent, de la fréquence des vents de travers, du vent d'aval dominant et du foehn, du gradient vertical de température; c'est au même moment que l'on note le moins de jours à brises normales ; c'est en mai que l'insolation relative est la plus faible en haute montagne et subit un fléchissement marqué en plaine (minimum relatif).

Que signifie cela ? Tout simplement qu'au sortir de l'hiver et au moment où l'énergie fournie par le rayonnement solaire augmente constamment, notre petit continent européen reçoit plus souvent et plus intensément qu'à d'autres époques de l'année de l'air provenant des hautes latitudes; l'afflux d'air froid, par poussées successives, donne au temps de ces trois mois un caractère particulier, instable et en général sombre. Les fameuses rebuses d'avril, de mai, de juin même, plus ou moins régulières mais toujours présentes au rendez-vous, manifestent ces assauts de l'air issu de la calotte polaire. La vive aération du continent au printemps contraste fortement avec sa tendance en automne à conserver son atmosphère que l'été a réchauffée et stabilisée. Le sujet n'est qu'effleuré.

* * *

Vu d'en bas, vu d'en haut, le pays valaisan a montré dans cet exposé maladroit, lourd d'un appareil statistique pourtant nécessaire, un visage particulier, celui de ses vents adaptés au modelé du terrain; s'il n'est pas le plus beau, ce visage n'est-il pas attrayant et curieux ? J'espère l'avoir présenté sans le trahir, tel que je l'ai vu.

Si d'autres, avertis des problèmes ici entrevus, regardent à leur tour souffler la brise aux détours des vallées, grossir les nuages à cheval sur les crêtes, ils auront, eux aussi à coup sûr, avantage et plaisir.

Montreux, automne 1960.

Travaux cités.

1. Bénévent E. — Le climat des Alpes françaises. *Mémorial Off. nat. mét. de France*, 1926, Paris.
2. Billwiller R. — Der Walliser Talwind. *Annalen met. Zentralanstalt*, 1913, Zürich.
— Talwind u. tägl. Barometergang i. Wallis. *Actes Soc. helv. Sc. nat.*, 1914, Berne.
3. Ekhart E. — Einiges z. Statistik des Innsbrucker Föhns. *Met. Zeit.*, 49, 1932, Braunschweig.
— Zum Innsbrucker Föhn. *Met. Rundschau*, 2, 1949, Heidelberg.
— Ub. d. tägl. Gang des Windes i. Gebirge. *Archiv f. Met., Geoph. u. Bioklimat.*, B, 4, 1953, Wien.
4. Hoinkes H. — Föhnentwicklung durch Höhentiefdruckgebiete. *Archiv f. Met., Geophys. u. Bioklimat*, A, 2, 1950, Wien.
5. Obenland E. — Untersuchung z. Föhnstatistik des Oberallgäus. *Ber. deut. Wetterdienstes*, 4, 1956.
6. Roulleau J. et Trochon R. — Météorologie générale, II, Gauthier-Villars, 1958, Paris.
7. Schweitzer H. — Versuch einer Erklärung d. Föhns als Luftströmung m. unterkritischer Geschwindigkeit. *Archiv f. Met. Geoph. u. Bioklimat.* A, 5, 1953, Wien.
8. Thams J. C. et Zenone E. — Osservazioni sui venti di monte e di valle nel piano di Magadino. *Geof. pura e appl.*, 30, 1950, Milano.
9. Wagner A. — Theorie u. Beobachtung d. period. Gebirgswinde. *Gerlands Beitr.*, 52, 1938.
10. Wild H. — Ub. d. Föhn u. Vorschlag z. Beschränkung seines Begriffes. *Nouv. Mém. Soc. helv. Sc. nat.*, 38, 1901, Zürich.

Liste des travaux de l'auteur concernant le Valais

(Murithienne = *Bulletin de la Murithienne*, Soc. valaisanne des Sciences naturelles, Sion) :

11. L'insolation en Valais, *Murithienne*, 65, 1947/48.
12. Les causes météorologiques de la crue du Rhône valaisan du 4 sept. 1948, *Murithienne*, 65, 1947/48.
13. Le reflux post-frontal dans la vallée du Rhône, *Actes Soc. helv. sc. nat.* 1949.
14. La vaudaire du Bas-Valais et du Lac Léman, *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 64, 1949, Lausanne.
15. La vaudaire du Bas-Valais et du Lac Léman. Complément d'étude. *Murithienne*, 66, 1949.
16. Les brises locales à Montana, *Murithienne*, 66, 1949.
17. La vaudaire d'orage dans la vallée du Rhône, *Geof. pura e appl.*, 17, 1950. Milano.
18. La pluie en Valais, *Murithienne*, 67, 1950.
19. Le fœhn en Valais, *Murithienne*, 68, 1951.

20. La vaudaire d'orage du 11 juin 1950, *Bull. Soc. vaud. Sc. nat.* 65, 1951, Lausanne.
21. Le brouillard en Valais, *Murithienne,* 69, 1952.
22. La variation diurne de la pression dans la vallée du Rhône suisse, *Journ. scientif. météorol.*, 4e année, 1952, Paris.
23. Le brouillard dans les Alpes valaisannes, *Archiv. f. Met. Geophys. u. Bioklim.* B, 4, 1952, Wien.
24. La fréquence des orages dans les Alpes de la Suisse occidentale, *Geof. pura e appl.*, 25, 1953, Milano.
25. L'orage en Valais, *Murithienne,* 70, 1953.
26. Coup de fœhn sur le Léman, *Murithienne,* 71, 1954.
27. Brise de vallée et température, *Murithienne,* 71, 1954.
28. Notice sur le climat de Sierre, *Annales Soc. suisse balnéologie,* 43, 1954.
29. Profil hypsométrique du faîte des Alpes centrales, *Geographica helvetica,* 4, 1955.
30. Contribution à la géographie physique du Valais, *Murithienne,* 73, 1956.
31. Les Alpes dans le champ de pression, *La Météorologie,* 45/46, 1957, Paris.
32. Contribution à l'étude de la température en Valais, *Murithienne,* 74, 1957.
33. (avec Ambrosetti et Bider) L'orage en Suisse, *Archiv. Met. Geoph. u. Bioklim.* B, 8, 1957, Wien.
34. Fœhn, vaudaire et grain orageux, *Murithienne,* 75, 1958.
35. Note sur le fœhn, *Actes Soc. helv. Sc. nat.*, 1958.
36. Les cumulus dans les Alpes valaisannes, *Archiv. Met., Geoph. u. Bioklim.*, B, 9, 1959, Wien.
37. Pluie, neige, brouillard et orage dans le Valais central, *Murithienne,* 77, 1960.

TABLEAUX

1. *Sierre. Fréquences des directions de vent en pour cent; moyennes de 6 ans.*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Calmes	3	3	2	2	2	2	3	3	4	4	4	4	3
NNE	3	2	2	2	2	3	3	3	3	4	5	5	3
NE	37	25	26	20	19	20	19	23	25	32	37	40	27
ENE	11	11	9	6	8	6	6	7	6	7	10	14	8
E	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	3	2
ESE	1	1	1	1	1	—	1	1	1	1	1	1	1
SE	1	1	1	1	—	1	—	1	1	1	1	—	1
SSE	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
S	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2
SSW	5	8	8	11	12	12	15	10	10	11	6	3	9
SW	15	22	25	29	28	28	28	25	26	22	17	11	23
WSW	12	15	15	18	17	18	18	18	15	10	10	10	15
W	5	5	2	3	3	3	2	3	3	2	3	4	3
WNW	1	1	1	1	1	1	1	—	—	1	—	1	1
NW	1	1	1	1	1	1	1	1	1	—	1	1	1
NNW	1	1	1	1	1	—	—	1	—	—	—	1	—
N	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

2. *Sierre. Vent d'aval, vent d'amont et calmes. Fréquences en pour cent, de deux en deux heures (6 ans).*

Janvier	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24 h	Jour
Aval	29	30	30	31	31	41	66	72	57	37	31	29		41
Amont	67	66	65	65	65	57	33	27	40	59	65	67		56
Calmes	4	4	5	4	4	2	1	1	3	4	4	4		3
Février														
Aval	39	39	38	37	37	52	84	89	85	66	45	42		54
Amont	56	57	58	59	60	46	15	10	14	32	52	54		43
Calmes	5	4	4	4	3	2	1	1	1	2	3	4		3
Mars														
Aval	33	33	33	33	40	75	87	85	82	75	53	34		55
Amont	62	63	64	65	59	25	13	15	18	24	44	61		43
Calmes	5	4	3	2	1	—	—	—	—	1	3	5		2
Avril														
Aval	43	43	42	43	62	90	89	87	85	81	73	49		66
Amont	51	52	53	53	36	9	11	13	15	18	25	45		32
Calmes	6	5	5	4	2	1	—	—	—	1	2	6		2
Mai														
Aval	42	39	38	38	74	90	87	85	83	80	71	49		65
Amont	53	55	57	59	26	10	13	15	17	20	27	47		33
Calmes	5	6	5	3	—	—	—	—	—	—	2	4		2

Juin	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24h	Jour
Aval	37	34	32	38	76	88	87	86	85	84	80	56		65
Amont	57	59	62	59	24	12	13	14	15	16	19	41		33
Calmes	6	7	6	3	—	—	—	—	—	—	1	3		2
Juillet														
Aval	35	30	26	29	71	97	96	95	94	92	80	49		66
Amont	58	62	65	67	29	3	4	5	6	8	18	46		31
Calmes	7	8	9	4	—	—	—	—	—	—	2	5		3
Août														
Aval	30	27	25	24	54	88	94	93	92	90	59	40		59
Amont	65	67	68	69	46	12	6	7	8	10	39	56		38
Calmes	5	6	7	7	—	—	—	—	—	—	2	4		3
Septembre														
Aval	30	27	25	30	46	85	95	94	91	81	47	33		57
Amont	62	65	68	64	52	15	5	6	9	18	49	59		39
Calmes	8	8	7	6	2	—	—	—	—	1	4	8		4
Octobre														
Aval	25	25	25	26	29	70	91	94	87	51	29	25		48
Amont	68	68	69	69	69	29	9	6	12	46	64	68		48
Calmes	7	7	6	5	2	1	—	—	1	3	7	7		4
Novembre														
Aval	20	21	21	23	25	47	80	86	68	36	22	20		39
Amont	74	73	73	72	72	53	20	13	29	60	73	74		57
Calmes	6	6	6	5	3	—	—	1	3	4	5	6		4
Décembre														
Aval	24	25	26	26	26	33	51	60	45	27	22	23		32
Amont	72	71	70	70	70	64	48	39	50	68	74	73		64
Calmes	4	4	4	4	4	3	1	1	5	5	4	4		4
Année														
Aval	32	31	30	32	47	71	83	85	80	67	51	37		54
Amont	62	63	64	64	51	28	16	14	19	31	46	58		43
Calmes	6	6	6	4	2	1	1	1	1	2	3	5		3

N. B. — L'aval comprend les directions de S à NNW ; l'amont, celles de N à SSE ; les calmes sont définis par une vitesse égale ou inférieure à 1 km/h.

3. Sierre. Vitesse du vent en hm/h. Moyennes de 6 ans.

Heures	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Moy.
Janvier	52	52	52	52	52	52	52	52	53	54	56	59	63	67	70	70	67	63	59	56	54	52	52	52	57	
Février	60	59	58	57	57	57	57	57	57	58	61	69	80	92	102	109	109	100	86	75	69	66	64	62	72	
Mars	64	62	60	59	59	59	59	59	61	67	79	97	119	140	160	174	178	168	146	119	96	81	73	67	96	
Avril	69	65	62	59	57	56	58	64	74	88	105	125	146	165	181	192	197	193	174	143	111	90	79	73	109	
Mai	63	59	56	55	54	54	56	61	71	85	104	123	141	157	170	180	184	178	162	136	108	85	73	67	103	
Juin	55	52	50	48	47	47	49	55	67	83	103	124	144	159	168	171	170	162	148	126	102	80	66	59	97	
Juillet	54	51	49	48	48	49	51	56	65	78	95	117	139	158	169	174	172	166	149	124	100	81	69	60	97	
Août	51	48	46	44	44	44	45	47	53	63	77	98	121	141	154	160	158	147	127	101	78	63	57	54	84	
Septembre	46	45	44	43	42	42	43	46	51	59	71	89	111	133	149	155	150	132	106	80	62	55	50	48	77	
Octobre	48	48	48	48	48	48	48	48	49	52	59	71	88	105	119	122	112	91	71	58	53	51	50	49	66	
Novembre	41	41	41	41	41	41	41	42	44	47	51	59	70	82	88	86	77	66	56	50	46	44	43	42	53	
Décembre	51	51	51	51	51	51	51	52	54	56	59	62	66	70	72	69	64	60	58	57	56	54	53	52	57	
Année	55	53	51	50	50	50	51	53	58	66	77	91	107	122	133	139	136	127	112	94	78	67	61	57	81	

4. Sierre. Vitesse du vent en hm/h ; brises normales des jours sereins

Janvier	37	37	37	38	39	39	39	39	39	39	39	40	42	47	50	49	46	43	40	39	38	37	37	37	40
Février	35	34	34	35	36	37	37	37	37	37	37	39	48	63	80	90	87	71	52	40	39	38	37	36	46
Mars	42	42	42	42	41	39	38	38	38	38	43	56	76	101	127	147	154	144	115	79	51	41	40	41	67
Avril	43	42	40	39	38	37	37	37	38	41	50	70	99	132	158	173	179	174	150	109	69	47	43	43	79
Mai	47	46	44	43	42	41	40	39	41	48	63	86	114	138	155	164	166	161	143	111	76	53	46	48	82
Juin	42	39	36	35	34	34	34	36	42	54	75	105	137	162	176	180	179	173	154	120	82	56	46	44	87
Juillet	41	39	37	36	35	35	35	36	42	55	76	102	132	159	178	185	184	175	157	126	90	59	46	43	88
Août	41	38	36	35	35	36	37	38	42	50	66	91	123	150	172	181	177	160	129	92	62	48	45	43	80
Septembre	35	34	33	32	32	32	32	33	34	39	49	69	99	126	151	156	147	121	87	61	47	44	40	37	65
Octobre	36	35	35	35	35	36	36	36	37	38	43	58	81	107	126	130	112	81	54	42	40	40	39	37	56
Novembre	34	34	34	34	34	34	34	35	35	36	37	43	55	69	76	65	50	37	38	39	39	37	36	34	42
Décembre	36	36	36	36	37	37	37	38	38	38	39	39	41	44	47	45	41	38	38	40	41	40	38	36	39

5. Sierre. Vitesse du vent en hm/h ; jours avec aval dominant

Déc./fév.	101	102	106	110	115	119	122	124	127	130	134	139	145	151	154	155	153	148	137	122	110	103	101	100	125
Mars/mai	102	101	100	98	97	97	99	109	124	142	157	170	181	191	199	202	200	190	172	149	128	113	105	102	139
Juin/août	83	82	80	79	79	79	84	101	124	147	162	174	184	190	194	195	192	183	168	147	124	105	92	86	131
Sept./nov.	76	76	76	76	77	78	81	85	99	116	132	145	156	164	169	167	161	148	131	109	92	81	77	76	110

6. *Sierre. Maxima de vent. m/s (6 ans).*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
a	2	3	5	6	5	5	5	4	4	3	2	2	6
b	1	2	4	5	5	5	5	5	4	4	2	1	5
c	11	14	18	17	14	12	9	13	13	13	14	18	18
d	3	4	7	8	8	8	8	7	7	6	4	3	8
e	6	8	11	11	11	11	11	10	11	10	7	6	11
f	22	25	26	27	24	20	19	21	22	24	26	28	28

a : Maximum horaire moyen, tous vents.
b : » » » brise d'aval normale.
c : » » » foehn.
d : Maximum instantané moyen, brise d'aval normale.
e : » » absolu, » » »
f : » » » foehn.

N. B. — Les valeurs sous (a) et (b) sont les maxima moyens, par heure, ou maxima diurnes moyens ; sous (c) c'est la vitesse horaire la plus élevée de tous les cas de foehn ; sous (d) à (f) il s'agit des pointes de vent (rafales) relevées sur l'anémographe à pression ; en (f) ce sont les plus fortes rafales observées en six ans qui, toutes, relèvent du foehn.

7. *Sierre. Maxima de vitesse du vent d'aval dominant en m/s.*

	Maximum horaire	Maximum instantané
1953	10	15
1954	8	15
1955	9	14
1956	9	15
1957	8	15
1958	9	12
1959	10	15

8. *Foehn à Sierre. Maxima de vitesse : fréquences cumulées. a) maxima horaires en km/h ; b) maxima instantanés en m/s.*

Le foehn a dépassé :

a		b	
5 km/h	204 fois	1 m/s	204 fois
10	198	5	201
15	187	10	167
20	167	15	85
25	142	20	31
30	113	25	6
35	84		
40	56		
45	34		
50	19		
55	10		
60	4		

9. *Sierre. Quote-part du vent d'aval: rapport aval/tous vents (vitesses cumulées), en pour cent, pour tous les jours (a) et pour les jours sereins seulement (b). Valeurs adoucies.*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
a	55	63	69	74	78	80	81	79	75	67	56	47	67
b	17	44	62	71	76	79	79	75	67	55	41	23	57

10. *Sierre. La renverse des brises par temps clair. Début, fin et durée de la brise d'aval (1500 obs.).*

	Début	Fin	Durée
1er janvier	13,0 h	16,3 h	3,3 h
15 »	12,7	16,8	4,1
1er février	12,3	17,6	5,3
15 »	11,8	18,4	6,6
1er mars	11,3	19,0	7,7
15 »	10,8	19,6	8,8
1er avril	10,3	20,1	9,8
15 »	9,9	20,4	10,5
1er mai	9,6	20,6	11,0
15 »	9,3	20,8	11,5
1er juin	9,0	21,0	12,0
15 »	8,8	21,1	12,3
1er juillet	8,8	21,1	12,3
15 »	8,9	21,0	12,1
1er août	9,1	20,8	11,7
15 »	9,3	20,4	11,1
1er septembre	9,6	19,9	10,3
15 »	10,0	19,3	9,3
1er octobre	10,4	18,6	8,2
15 »	10,9	18,0	7,1
1er novembre	11,4	17,5	6,1
15 »	11,9	17,0	5,1
1er décembre	12,4	16,5	4,1
15 »	12,8	16,3	3,5

11. *Sierre. Nombre de jours à régime normal (a) ou quasi normal (b) des brises de beau temps, avec vent d'aval dominant (c). Moyennes de 7 ans (1953-1960).*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
a	7	5	7	6	4	5	8	9	10	12	9	9	91
b	4	5	4	2	5	5	5	5	6	5	7	3	56
Total	11	10	11	8	9	10	13	14	16	17	16	12	147
c	3	5	5	8	6	5	5	4	4	3	2	2	52

12. *Sierre. Vingt coups de fœhn fort; vitesse moyenne d'heure en heure à partir du début, en km/h.*

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	h
0	37	45	49	50	50	48	44	40	34	28	22	15	8	2	km/h

13. *Jours (a) et heures (b) de fœhn à Sierre; jours (c) de lombarde à Montana. Moyennes des périodes 1953-1960 à Sierre et 1947-1958 à Montana*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
a	1	2	6	5	5	3	1	1	2	2	2	2	32
b	6	10	67	34	45	25	6	7	13	9	14	22	258
c	6	7	8	7	9	6	3	4	6	7	7	6	76

14. *Heures de fœhn à Sierre (S) et d'orage en Valais (V); fréquence en p. mille d'heure en heure. Périodes de 7 et 30 ans respectivement.*

Heures	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S	19	15	10	12	11	10	8	8	9	16	27	40	
V	12	15	16	15	14	10	13	15	12	12	11	16	

Heures	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
S	54	71	86	89	91	88	82	76	59	52	39	28	
V	27	46	69	91	121	121	106	78	69	55	36	20	

15. *Montana. Vitesse du vent. Moyennes mensuelles (5 ans) Km/h.*

	6 h 30	9 h 30	12 h 30	15 h 30	18 h 30	21 h 30	Moy.
Janvier	6,3	7,3	9,0	8,3	6,8	6,4	7,4
Février	7,7	8,6	10,0	11,3	8,4	7,5	8,9
Mars	6,5	9,3	11,5	13,0	8,7	7,7	9,4
Avril	4,0	7,5	13,2	15,3	9,7	6,4	9,4
Mai	4,8	8,6	12,0	14,6	9,7	5,9	9,3
Juin	5,6	9,9	13,0	14,4	10,5	5,9	9,9
Juillet	3,7	7,1	11,6	13,7	8,8	3,7	8,1
Août	3,4	7,1	10,9	13,1	6,8	3,8	7,5
Septembre	4,5	8,2	11,2	12,4	7,0	5,5	8,1
Octobre	4,1	8,0	9,4	9,8	6,2	5,4	7,2
Novembre	5,5	8,0	9,1	7,8	6,1	5,5	7,0
Décembre	6,0	7,5	8,9	8,1	6,4	5,8	7,1
Année	5,2	8,1	10,8	11,8	7,9	5,8	8,3

16. *Montana. Vitesse du vent. Jours sereins (456 j). Km/h.*

	6 h 30	9 h 30	12 h 30	15 h 30	18 h 30	21 h 30	Moy.
Janvier	1,1	3,3	4,4	2,7	0,9	0,9	2,2
Février	1,0	2,7	3,3	3,2	0,8	0,8	2,0
Mars	0,9	4,0	6,0	7,5	1,7	0,6	3,4
Avril	0,9	4,6	8,3	12,7	5,6	1,0	5,5
Mai	1,5	5,0	8,0	11,1	4,0	1,0	5,1
Juin	1,5	4,8	9,0	13,3	5,8	1,0	5,9
Juillet	1,8	5,0	9,3	13,4	5,9	1,7	6,2
Août	1,4	5,0	9,2	13,2	4,8	1,5	5,8
Septembre	1,2	5,7	6,4	9,9	3,0	1,5	4,6
Octobre	0,8	5,0	4,5	4,8	0,9	0,8	2,8
Novembre	0,9	2,9	2,3	1,0	0,5	0,4	1,3
Décembre	1,0	3,0	4,2	2,0	1,3	0,8	2,1
Année	1,2	4,2	6,2	7,9	2,9	1,0	3,9

17. *Montana. Durée de la lombarde; fréquence en p. mille des séquences de n jours. Période 1947-1958.*

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	jours
430	261	140	74	41	23	13	8	5	3	2	p. mille

18. *Montana. Jours d'orage (a), de grêle (b), de brouillard (c) de givre (d), sans nuages (e), avec neige gisante (f). Mer de brouillard à Montana (g) et à Leysin (h). Période de 10 ans.*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	10 ans
a	1	—	2	2	18	47	60	58	20	1	1	—	210
b	—	—	—	3	2	5	3	2	—	—	—	—	15
c	63	61	39	65	67	70	65	65	62	91	76	77	801
d	16	11	4	2	—	—	—	—	—	1	8	12	54
e	27	24	22	10	—	1	6	1	13	39	26	35	204
f	29	27	24	10	1	—	—	—	1	3	9	22	126
g	12	5	2	—	—	—	—	—	5	12	16	15	67
h	45	25	5	—	—	—	—	—	15	50	95	65	300

19. *Vent d'aval dominant à Sierre. Vitesse moyenne du vent à Sierre (S) et à Montana (M) pour les mêmes jours. Km/h. (284 jours).*

		6 h 30	9 h 30	12 h 30	15 h 30	18 h 30	21 h 30	Moy.
Déc./févr.	S	12,2	13,0	14,5	15,5	13,7	10,3	12,5
	M	14,0	10,7	13,6	12,6	8,1	7,9	11,1
Mars/mai	S	9,9	14,2	18,1	20,2	17,2	11,3	13,9
	M	5,3	9,4	12,8	14,8	8,6	6,0	9,5
Juin/août	S	8,4	14,7	18,4	19,5	16,8	10,5	13,1
	M	5,9	9,2	14,4	16,1	9,9	3,9	9,9
Sept./nov.	S	8,1	11,6	15,6	16,7	13,1	8,1	11,0
	M	6,6	6,9	11,8	12,9	5,9	4,5	8,1

20. *Nombre global de jours avec vent catabatique à Sierre (S) et à Montana (M). Périodes : 1954-1959 à Sierre, 1953-1958 à Montana (6 ans).*

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	6 ans
S	—	—	3	19	25	14	8	2	1	1	1	—	74
M	6	6	12	36	52	35	30	19	5	3	5	—	209

21. *Observations parallèles de la lombarde à Montana (1500 m), et du foehn à Sierre (500 m), par classes de vitesse du vent à 1500 m. Période 1953/59.*

Classe de vitesse à 1500 m, en km/h	Fréquence foehn à Sierre	Fréquence lombarde à Montana	Rapport en %
1 - 5	0	204	0,0
6 - 10	10	285	3,3
11 - 15	21	309	6,8
16 - 20	35	312	11,2
21 - 25	47	291	16,2
26 - 30	54	240	22,5
31 - 35	53	167	31,8
36 - 40	47	110	42,7
41 - 45	39	74	52,7
46 - 50	31	49	63,3
51 - 55	19	25	76,0
56 - 60	5	5	100,0
61 - 65	2	2	100,0

22. *Gradient vertical de température entre Sierre et Montana, degrés par hectomètre ; moyennes de 5 ans, ajustées.*

	7 h 30	13 h 30	21 h 30	Moyenne
Janvier	0,15	0,20	0,13	0,16
Février	0,20	0,43	0,38	0,34
Mars	0,31	0,69	0,54	0,51
Avril	0,38	0,79	0,60	0,59
Mai	0,42	0,77	0,59	0,59
Juin	0,41	0,72	0,54	0,56
Juillet	0,36	0,66	0,48	0,50
Août	0,27	0,60	0,41	0,43
Septembre	0,16	0,54	0,32	0,34
Octobre	0,10	0,47	0,23	0,27
Novembre	0,07	0,36	0,16	0,20
Décembre	0,08	0,22	0,14	0,15
Année	0,24	0,54	0,38	0,39

23. *Pression. Ecarts à la moyenne journalière en centièmes de millimètres à Sierre (S) et à Montana (M) pour les jours de beau temps, de deux en deux heures (150 j.)*

		0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22 h
Déc./janv.	S	15	15	20	20	55	70	15	—70	—90	—55	—10	15
	M	10	5	—5	—15	10	30	10	—25	—30	—10	5	15
Févr./mars	S	50	55	50	55	80	60	—20	—105	—140	—100	—20	35
	M	35	15	00	—5	5	20	5	—30	—50	—30	5	30
Avril/mai	S	55	75	95	120	145	80	—25	—125	—180	—175	—85	15
	M	30	20	10	10	25	30	5	—30	—55	—55	—20	25
Juin/juill.	S	60	80	100	130	135	70	—25	—110	—170	—175	—95	00
	M	40	25	15	20	30	25	00	—30	—55	—60	—30	25
Août/sept.	S	65	75	80	95	120	70	—20	—120	—180	—160	—70	30
	M	45	30	20	15	30	30	—5	—40	—65	—70	—20	30
Oct./nov.	S	50	45	35	40	70	55	—35	—120	—130	—65	10	45
	M	35	25	5	—5	10	25	—10	—50	—55	—20	15	30

24. *Variation diurne de la pression à Sierre et à Montana. Paramètres du développement en série de Fourier. Jours sereins*

	Sierre						Montana					
	a	b	c	A	B	C	a	b	c	A	B	C
Déc./janv.	0,51	0,39	0,13	9°	159°	324°	0,08	0,20	0,09	30°	145°	340°
Févr./mars	0,92	0,51	0,18	25	158	350	0,22	0,26	0,04	50	134	295
Avril/mai	1,48	0,47	0,08	14	155	133	0,34	0,26	0,10	21	129	168
Juin/juill.	1,51	0,36	0,08	17	148	146	0,39	0,25	0,06	20	124	132
Août/sept.	1,33	0,50	0,05	18	147	140	0,45	0,29	0,03	29	129	127
Oct./nov.	0,78	0,51	0,12	36	169	345	0,29	0,25	0,10	57	150	335

a, b et c sont les coefficients des trois premiers termes ; A, B et C sont les phases.

25. *Différence de pression entre Sierre et Montreux (76 km); jours sereins; moyennes de 2 en 2 heures en dixièmes de millimètres. Le gradient positif est dirigé vers Montreux.*

	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22 h
Eté	5	6	7	6	2	—7	—14	—18	—18	—13	—6	1
Automne	7	7	7	7	6	—2	—9	—12	—11	—7	2	7
Hiver	10	10	11	13	14	10	2	—2	—1	4	8	10

26. *Evolène. Renverse du matin : début de la brise de vallée ; moyennes de 212 jours au total, en heures (H. E. C.).*

M	A	M	J	J	A	S	O	N
11,0	9,9	9,4	9,3	9,3	9,5	10,2	10,7	11,8 h

N. B. — En hiver la brise de vallée n'existe plus.

Table des matières.

Introduction 277
1. Généralités 277
2. Le cadre géographique 278
3. Les deux stations de base 280

Première partie. Le vent a Sierre 282
I. *Le vent en général* 282
1. Généralités 282
2. Direction 283
3. Vitesse 285
4. Quote-part de l'aval 286
II. *Les brises normales de beau temps* 287
1. Généralités 287
2. Direction 288
3. Vitesse 288
4. Quote-part de l'aval 289
5. Les renverses 289
III. *Le vent d'aval dominant* 291
1. Caractéristiques 291
2. Origine 291
3. Vitesse 292
IV. *Le foehn* 293
1. Définition et caractères généraux 293
2. Fréquence 294
3. Durée 296
4. Vitesse 297
5. Avant et après le foehn 298
6. Quote-part du foehn 299
7. Le vent à 5000 m 299
V. *Autres vents particuliers* 300
1. Les vents de travers 300
2. Les vents d'orage 301
3. Les grains et les fronts 302

Deuxième partie. Le vent a Montana 303
1. Direction 303
2. Vitesse 304
3. Les brises normales de beau temps 304
4. La lombarde 306
5. Les vents plongeants 307
6. Les vents d'orage 308
Troisième partie. Le Valais 309
I. *Les brises* 309
1. La vallée du Rhône 309
2. Le val d'Hérens 309
3. Autres vallées 311
4. Remarques générales 313
II. *Le foehn* 314
1. Les vallées à foehn 314
2. Foehn et lombarde 317
3. Foehn et gradient de température 319
4. Le ciel de foehn 321

III. *La pression* 324
1. La variation diurne 324
2. Le gradient Sierre-Montreux 325
IV. *Nuages, brouillard et orages* 327
1. Les cumulus locaux 327
2. Le brouillard à Montana 328
3. La mer de brouillard 330
4. L'orage 331
5. La vaudaire d'orage 332
6. La grêle à Montana 333
V. *Le temps* 334
1. Temps et relief 334
2. Type anticyclonique 335
3. Type Sud-Ouest 335
4. Type Ouest 335
5. Type Nord-Ouest 335
6. Type méditerranéen 336
7. Les passages frontaux 336
VI. *Remarque finale* 337

Travaux cités 339

TABLEAUX.

1. Sierre. Direction du vent 342
2. Sierre. Vent d'aval, d'amont et calmes 342
3. Sierre. Vitesse du vent 344
4. Sierre. Vitesse des brises normales 344
5. Sierre. Vitesse du vent d'aval dominant 344
6. Sierre. Maxima de vent 345
7. Sierre. Maxima du vent d'aval dominant 345
8. Sierre. Maxima du foehn 345
9. Sierre. Quote-part du vent d'aval 346
10. Sierre. Renverses des brises normales 346
11. Sierre. Jours normaux, quasi normaux et avec aval dominant 346
12. Sierre. Vitesse moyenne de 20 coups de foehn 347
13. Sierre. Jours et heures de foehn. Montana : jours de lombarde 347
14. Sierre. Fréquence diurne du foehn. Valais : fréquence diurne de l'orage 347
15. Montana. Vitesse du vent 347
16. Montana. Vitesse du vent, jours sereins 348
17. Montana. Durée de la lombarde 348
18. Montana. Jours d'orage, de brouillard, de grêle, de givre, sans nuages et avec neige gisante. Montana et Leysin : mer de brouillard 348
19. Sierre et Montana. Vitesse du vent d'aval dominant . . 348
20. Sierre et Montana. Jours avec vent catabatique 349
21. Sierre et Montana. Foehn et lombarde: rapport de fréquence 349
22. Sierre et Montana. Gradient vertical de température . . . 349
23. Sierre et Montana. Variation diurne de pression 350
24. Sierre et Montana. Variation diurne de pression : calcul . 350
25. Sierre et Montreux. Gradient de pression 350
26. Evolène. Renverse du matin 350

Rédaction : Mlle Suzanne Meylan, professeur, Treyblanc 6, Lausanne.