

36

Contribution à l'étude de la variation diurne de pression en Suisse Romande

par

Max Bouët

551.543.1 (494)

SZ ISSN 0080-7346

Contribution à l'étude de la variation diurne de pression en Suisse Romande

par

Max Bouët

Résumé

Etablissement des courbes de la variation diurne de la pression en quatre endroits de plaine et trois de montagne, soit entre 400 et 3500 m. Rôle du relief et de l'altitude, époques des extrema, valeur des amplitudes et développement en série de Fourier. Application au gradient horizontal entre la région du Léman et la vallée du Rhône valaisanne.

Zusammenfassung

Der Tagesgang des Luftdrucks wird für 7 Orte im Höhenbereich zwischen 400 und 3500 m (4 Stationen in den Niederungen und 3 Bergstationen) durch Kurven dargestellt. Der Einfluss des Geländes und der Höhe sowie die Eintrittszeit der Extrema und die Amplitude der Schwankungen werden diskutiert. Sodann wird eine Fourier-Zerlegung durchgeführt. Schliesslich werden Folgerungen bezüglich des horizontalen Druckgradienten zwischen dem Genfersee und dem Walliser Rhonetal gezogen.

Riassunto

Vengono rappresentate le curve della variazione diurna della pressione per quattro località di pianura e tre di montagna, situate tra 400 e 3500 m. Vengono discussi: l'influsso del terreno e dell'altitudine, come pure i periodi in cui si presentano i valori estremi e l'ampiezza delle variazioni. Indi viene eseguito uno sviluppo in serie di Fourier. Infine sono tratte conclusioni sul gradiente orizzontale tra la regione del Lemano e la vallata del Rodano vallesano.

Summary

The diurnal pressure oscillation is presented for 7 stations (three of them being situated in valleys or plains, four in the mountainous part of Switzerland, altitudes ranging from 400 to 3500 m above s.l.). Specific problems such as influence of orography and altitude, time of maxima and minima, amplitudes etc. are investigated, and a Fourier analysis is made to this purpose. The last chapter is devoted to the horizontal pressure gradient between the Lake of Geneva and the lower part of the Valais.

TABLE DES MATIÈRES

	<u>page</u>
1. Le matériel	5
2. L'effet orographique	7
3. L'effet d'altitude	8
4. L'effet saisonnier	8
5. Les extrema	9
6. Les amplitudes	10
7. Le développement en série	11
8. La variation diurne de température	12
9. L'effacement dans l'advection froide	12
10. Le gradient horizontal du Lac Léman au Valais	13
Travaux cités ou consultés	15
Légendes des figures	16
Figure 1	16
Figure 2	17
Figure 3	17
Tableau 1: Variation diurne de la pression: écarts à la moyenne d'heure en heure en centièmes de millimètres	18
Tableau 2: Variation diurne de la pression époques des extrema en temps local moyen	18
Tableau 3: Variation diurne de la pression: amplitudes totales en millimètres	19
Tableau 4: Variation diurne de la pression: paramètres du développement en série de Fourier. Temps local moyen	19
Tableau 5: Gradient moyen de pression entre Montreux et Sion, ou différence de pression M - S en centièmes de millimètres	20

1. LE MATÉRIEL

Ayant procédé à de fréquentes lectures barométriques en trois endroits de Suisse romande et qui n'ont pas été publiées, il m'a paru judicieux de les utiliser pour l'examen de la variation diurne de la pression peu étudiée en Suisse jusqu'ici. Il s'agit d'observations faites à Montreux (407 m), au Mont sur Lausanne (710 m) et à Montana-Vermala en Valais (1510 m) pendant plusieurs années en chacun de ces endroits. Les lectures au baromètre de précision n'ont pas toujours été faites à heure fixe mais ont été fréquentes, à raison de 6 à 8 par jour et quelquefois davantage, ce qui garantit un tracé sûr de la courbe de pression au cours du jour; l'intervalle nocturne de 22 à 6 h devait être interpolé au moyen du barogramme convenablement contrôlé. A Montana toutefois les observations ont été exactement équidistantes, de 3 en 3 heures (6 par jour); à Montreux et au Mont, elles ne l'ont pas toujours été, de sorte que je ne pouvais calculer des moyennes à heures fixes. Cela excluait d'emblée l'emploi de moyennes mensuelles embrassant la totalité des lectures.

Aussi ai-je adopté un autre mode de faire en ne retenant que les jours de temps beau et calme ou en tous cas calmes, en hiver souvent avec stratus, pour lesquels, comme on le sait, la variation diurne apparaît particulièrement bien. Il a donc été procédé de la façon suivante: ayant relevé, mois après mois, les jours où le barogramme présentait une allure "normale", sans accident frontal ni orageux, et sans baisse ni hausse aperiodique trop accusée, j'ai reproduit pour ces jours-là la courbe de pression à échelle agrandie en m'appuyant sur les lectures directes au nombre de six à dix selon les cas et sur le barogramme. Il y avait donc sélection des jours à variation dite normale qui sont en fait peu nombreux, la pression étant presque constamment en baisse ou en hausse plus ou moins rapide sous nos latitudes.

Sur les courbes ainsi dressées, j'ai alors relevé la valeur de la pression d'heure en heure, de 0 à 24 h, puis calculé les sommes par mois et les moyennes horaires, et enfin rectifié légèrement la courbe moyenne s'il subsistait une hausse ou une baisse globale, toujours très faible, en 24 heures. Le nombre de jours utilisables a varié entre 20 et 50 par mois pour chaque emplacement ce qui suffit pour obtenir l'allure exacte de la variation diurne débarrassée des accidents à grande échelle, fronts ou orages.

Les courbes moyennes ainsi obtenues ne peuvent prétendre à une haute précision en raison du petit nombre de jours considérés; aussi les écarts à la moyenne reproduits dans les tableaux ne sont-ils donnés qu'en centièmes de millimètre arrondis à 5 centièmes près. Ils donnent une très bonne image du phénomène et un ordre de grandeur suffisant pour permettre une comparaison d'un endroit à l'autre, but principal de cette étude.

Ce matériel privé a été complété par les données de l'Observatoire de Genève calculées avec un très grand soin par Plantamour pour la période de 1836 à 1860 (7), puis par celles de Sion-aérodrome (1961-1970), de Zurich ISM (1926-1935), du Saentis (1926-1935) et de

Testa-Grigia (1961-1970). Il s'agit alors de moyennes mensuelles ou annuelles de toutes les observations et non plus d'un choix de jours calmes. Les séries utilisées ne sont nullement contemporaines, ni dans le premier, ni dans le second cas ce qui est sans importance, attendu que l'allure fondamentale de la variation diurne reste la même au cours des ans et ne se modifie qu'en raison de la morphologie locale du lieu, de l'altitude et de la latitude; cette dernière étant pratiquement la même partout ne joue ici pas de rôle.

Les données de Genève établies par Plantamour (7) selon le jour astronomique et en temps local moyen ont été naturellement ramenées au jour civil, mais conservées en temps local pour le développement en série. Pour Sion-aérodrome et Testa-Grigia, je me suis servi des moyennes mensuelles publiées dans "Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt" (8 lectures par jour) en restituant les valeurs horaires par voie graphique. Pour Zurich et le Saentis, j'ai utilisé les moyennes mensuelles du même recueil, données d'heure en heure jusqu'en 1936. Pour les huit endroits la variation diurne fut donc exprimée en définitive par les valeurs d'heure en heure et pour les douze mois de l'année; la courbe annuelle s'en déduisait aisément. Le report graphique fut largement mis à contribution pour tous ces travaux préparatoires. A Testa-Grigia la précision des lectures m'est inconnue; j'ai renoncé aux valeurs mensuelles et me suis borné à celles de l'hiver, de l'été et de l'année.

La documentation ainsi réunie et élaborée pouvait servir de base à une comparaison des époques des extrema et des amplitudes entre cinq stations de basse ou moyenne altitude et trois autres à des niveaux plus élevés. Le développement en série de Fourier s'y applique pour deux mois d'hiver réunis, deux mois d'été et pour l'année. Les coordonnées géographiques des stations utilisées sont les suivantes:

Genève	405 m	6 ^o 09'	46 ^o 12'
Montreux	407 m	6 ^o 54'	46 ^o 27'
Sion	549 m	7 ^o 20'	46 ^o 13'
Le Mont	710 m	6 ^o 38'	46 ^o 34'
Montana	1509 m	7 ^o 29'	46 ^o 18'
Testa-Grigia	3488 m	7 ^o 42'	45 ^o 56'
Saentis	2500 m	9 ^o 21'	47 ^o 15'
Zurich	493 m	8 ^o 33'	47 ^o 23'

Une telle étude présente du point de vue méthodique certains gages de sécurité. En effet, l'utilisation faite ici des mesures de pression élimine les erreurs instrumentales, est indépendante des périodes retenues et permet la comparaison de séries non contemporaines. Elle suppose toutefois des lectures précises faites à heure fixe et avec soin; sans être assuré que ce fut toujours le cas pour les stations dites synoptiques (Sion et Testa-Grigia), j'ai cependant fait appel à ces observations qui dans l'ensemble paraissent fournir des résultats acceptables. Le fait d'avoir utilisé pour trois postes (Montreux, Le Mont et

Montana) les jours "normaux" (calmes) et pour les autres l'ensemble des mesures peut avoir introduit de légères différences dans l'allure des courbes moyennes.

L'exactitude du centième de millimètre n'est évidemment pas garantie; aussi ai-je toujours arrondi les moyennes à 0,05 mm près.

Le tableau 1 reproduit les valeurs de l'écart à la moyenne diurne d'heure en heure pour les huit endroits envisagés, pour l'année et pour deux saisons extrêmes, et cela en heure de l'Europe centrale (H.E.C.). Les nombres pour Montreux, Le Mont et Montana résultent donc de barogrammes sélectionnés de jours calmes, ensoleillés ou peu nuageux, souvent couverts par stratus en hiver; ceux de Genève, de Sion, de Zurich, du Saentis et de Testa-Grigia en revanche résultent de l'ensemble des lectures faites pendant dix ans (25 à Genève). Il est possible que pour le second groupe les amplitudes soient de ce fait légèrement réduites par rapport au premier.

Trois circonstances exercent une influence très marquée sur l'allure du barogramme "normal": l'orographie ou la forme du relief environnant, puis l'altitude et enfin la saison. Le rôle de la latitude est ici pratiquement négligeable.

2. L'EFFET OROGRAPHIQUE

Si l'on compare les trois endroits de même altitude de Genève, de Montreux et de Sion, on remarque une augmentation régulière de l'amplitude qui à Sion est à peu près le double de celle du bout du lac (fig. 1).

Genève, ville distante de 5 km du Salève au sud-est et de 15 km environ du Jura français (env. 1700 m) à l'ouest, occupe un site dégagé ce que confirme son ensoleillement, un des plus larges en Suisse. Montreux s'adosse au versant abrupt du massif préalpin des Rochers de Naye (2042 m) d'une pente moyenne de 25° à 30° . Sion enfin occupe un fond de vallée bordée de très hautes chaînes d'une altitude moyenne de 3000 à 3100 m, dans une auge capable de porter la masse d'air qu'elle enclos à une température un peu supérieure à celle des espaces sans relief important, tels que le Plateau suisse.

Le phénomène est connu depuis longtemps et a été fort bien décrit par Hann (5) qui a montré que l'amplitude diurne est faible sur les côtes océaniques des latitudes moyennes et qu'elle croît avec la continentalité des lieux où on l'observe. Le présent exemple vérifie le fait sur un espace relativement restreint.

3. L'EFFET D'ALTITUDE

La figure 2 reproduit les courbes annuelles de la variation diurne de cinq stations échelonnées de 400 à 3500 m, soit celles de Genève, du Mont, de Montana, du Saentis et de Testa-Grigia. Le changement d'allure des courbes avec l'altitude est net: le premier minimum et le premier maximum deviennent plus tardifs et le deuxième minimum tend à s'effacer; le maximum nocturne, lui, ne subit que peu de changements.

Les barogrammes de basse altitude correspondent en gros à la variation diurne de température, particulièrement au réchauffement de l'après-midi; le minimum de l'aube par contre n'y trouve pas son explication. Même en supposant une pression constante vers 4000 m l'après-midi et une compensation de masse dans les couches supérieures, on ne peut qu'entrevoir par ces courbes la complexité du phénomène.

4. L'EFFET SAISONNIER

La variation diurne étudiée sur l'année et à différents niveaux est intéressante mais ne suffit pas. On sait qu'elle n'est pas la même de mois en mois au cours de l'année. Pour être complet, il conviendrait donc de la reproduire pour chaque mois ce que je renonce à faire en raison des séries plutôt courtes utilisées et qui du point de vue purement statistique ne sont pas tout à fait suffisantes, bien que représentatives. Les écarts à la moyenne pour chaque mois ont été calculés, mais leur précision ne me paraît pas assez grande pour être reproduits. Toutefois un groupement de deux mois d'hiver et de deux mois d'été est tout à fait admissible; c'est ce qui a été fait dans le tableau 1 où figurent les écarts horaires pour décembre et janvier réunis, puis juin et juillet réunis, ce qui fournit une excellente image de l'effet saisonnier en présentant les deux cas extrêmes. Les autres mois occupent une position intermédiaire, sensiblement symétrique par rapport aux solstices. Je me borne aux six endroits de Suisse romande et du Valais avec en outre le Saentis.

Le tableau 1 fait apparaître les différences saisonnières par l'augmentation importante d'amplitude de l'hiver à l'été, la précocité du maximum principal et la tardiveté du minimum de l'après-midi. Là aussi se manifeste le comportement particulier de Montreux et surtout de Sion où l'amplitude est remarquablement forte en été; j'y reviens plus loin.

Les fluctuations journalières de la température de la basse troposphère sont évidemment plus grandes en été qu'en hiver où le lac d'air froid inerte recouvre si souvent le Plateau; il est donc naturel que l'amplitude de l'ondulation de pression soit aussi plus forte. L'époque des maxima et minima de cette ondulation se déplace également avec la saison, et sur ce point le matériel étudié permet d'apporter les précisions que voici.

5. LES EXTREMA

On distingue en principe quatre extrema sur les courbes de variation diurne: deux minima et deux maxima plus ou moins nets. Les plus saillants sont le maximum de la matinée et le minimum de l'après-midi. J'ai cherché à déterminer l'heure de ces extrema le mieux possible, cela sur les graphiques de travail et en tenant compte des valeurs de l'écart horaire à leur voisinage. Pour rendre les époques bien comparables d'un endroit à l'autre, il fallait les réduire en temps local moyen ce qui était déjà le cas des observations de Genève où, au siècle dernier, on réglait les pendules sur l'heure du méridien de la ville; aux autres stations la réduction était nécessaire. A Sion et à Testa-Grigia les lectures se faisant 20 à 30 minutes avant l'heure indiquée (parfois incorrectement!) dans les Annales, la conversion en temps local m'a paru de ce fait inutile. A Montana, comme les courbes de travail ont été tracées en tenant compte du même décalage de 20 minutes, la conversion se justifiait et a été faite.

J'ai obtenu de la sorte le tableau 2 donnant, en temps local moyen, les époques des extrema en heures et dixièmes d'heure après comparaison graphique des mois pour éliminer les irrégularités pouvant apparaître çà et là à la suite d'une position un peu incertaine du sommet ou du creux des courbes dessinées.

Le premier minimum a lieu dans la seconde partie de la nuit, entre 3 (été) et 4 h (hiver) en plaine, un peu plus tôt à Montreux; plus haut, l'époque retarde assez régulièrement: à 1500 m entre 4 et 5 h, à 2500 m entre 4h30 et 6 h. A 3500 m elle ne varie plus guère au cours de l'année et se situe constamment vers 7 h. A Sion ce minimum est mal défini et se place vers 6 h en hiver et vers 4 h en été.

Le premier maximum apparaît nettement partout; son époque recule d'une heure environ de l'hiver à l'été, de deux heures à Sion; à 2500 m et au-delà elle avance par contre de 3 h 1/2 environ. Le déplacement du maximum est donc inversé en altitude.

Le deuxième minimum, le plus accentué et le plus net, a lieu partout à basse altitude vers 15 h en hiver (vers 16 h à Sion) et autour de 17 h en été; à 2500 m l'écart saisonnier atteint 3 heures et à 3500 m 2 heures, mais avec un retard constant d'une à deux heures sur les époques de plaine.

Le deuxième maximum enfin est mal défini. Il se place entre 22 et 24 h en plaine et à Montana, vers 21 h à 2500 m et vers minuit à 3500 m.

Cette distribution des extrema dans le temps ne correspond que grossièrement à la thermique des couches basses et moyennes de la troposphère puisque celle-ci ne comporte que deux extrema. En fait la courbe de pression révèle un comportement complexe où la

thermique n'est probablement pas seule en jeu. Je n'insiste pas sur ce difficile problème qui sort du cadre de cette étude.

Une remarque peut être faite au sujet de la hausse vespérale de pression après 17 h en été. On constate en pratique que cette hausse normale est souvent accélérée sitôt qu'une tendance orageuse se fait sentir; en cas d'orage franc ou de grain orageux, la hausse vespérale se trouble complètement.

Une deuxième remarque intéressant le prévisionniste concerne le maximum secondaire normalement situé vers 22 ou 23 h. L'expérience montre que l'effacement de ce maximum par un début de baisse de pression est un signe assez sûr d'un changement de temps plus ou moins proche.

6. LES AMPLITUDES

J'ai relevé sur les courbes barométriques de travail l'amplitude de pression entre le maximum absolu du matin et le minimum absolu de l'après-midi, c'est-à-dire l'amplitude globale de la journée, ce qui m'a conduit à dresser le tableau 3 où les nombres relatifs à l'année sont la moyenne des douze valeurs mensuelles.

A basse altitude l'amplitude varie peu au cours de l'année et reste proche de 1 mm. A Montreux elle augmente et atteint 2 mm au printemps; à Sion elle croît encore davantage et s'élève en juillet à 2,6 mm. J'avais précédemment constaté une amplitude plus forte encore à Sierre, pouvant atteindre au printemps jusqu'à 3,4 mm (2). Le rôle du relief s'affirme de nouveau avec netteté dans ce sens que le réchauffement diurne à l'intérieur d'une vallée quasi fermée est nettement plus important qu'en pays ouvert. L'amplitude en Valais central est du même ordre que celle des régions tropicales et équatoriales: 2,7 mm à Calcutta en juillet, 3,0 mm à Djakarta en septembre; à Jéricho (-260 m) en Palestine l'amplitude d'été s'élève à 2,9 mm d'après Rosenan et Striem (8). On remarquera qu'à Zurich l'amplitude est un peu plus faible qu'à Genève en toutes saisons; est-ce un effet de la latitude ou de la situation géographique ou encore du procédé de calcul? Je ne puis trancher.

A 2500 m (Saentis), l'amplitude diurne est plus faible qu'en plaine en restant inférieure au millimètre, et elle augmente légèrement de l'hiver à l'été. A 3500 m (Testa-Grigia), la courbe barométrique change à ce point d'allure que l'amplitude globale devient équivoque et se rapporte à des extrema différents selon la saison. Je n'en fais donc pas mention et me borne à citer l'amplitude pour l'année qui se monte à 0,65 mm entre le minimum absolu de 7 h et le maximum absolu de 22 h.

7. LE DÉVELOPPEMENT EN SÉRIE

Le développement en série de Fourier d'une partie des données ci-dessus m'a paru utile dans la perspective d'une comparaison éventuelle avec d'autres observations et à titre documentaire; il fournit des paramètres qui sont connus pour un grand nombre de stations des deux hémisphères.

J'ai calculé le développement mis sous la forme:

$$y = a \sin (x + A) + b \sin (2x + B) + c \sin (3x + C) + \dots$$

pour les huit stations étudiées, mais en me bornant à l'hiver (décembre et janvier), à l'été (juin et juillet) et à l'année (à Zurich et au Saentis, l'année seulement). La valeur des paramètres (temps local moyen) figure au tableau 4 qui ne demande guère de commentaires.

On peut évidemment considérer le développement en série comme un simple procédé de calcul destiné à rendre le mieux possible une courbe expérimentale, sans se préoccuper d'une interprétation physique des termes successifs. Mais si quelque régularité le suggère, on doit chercher à lui trouver une signification convenable. Or la variation diurne de pression observée est indiscutablement périodique et l'analogie des termes de son développement en des lieux différents a incité les chercheurs à leur trouver un sens physique. L'amplitude du premier terme déjà manifeste une claire dépendance à l'égard de la situation géographique et surtout de la déclinaison solaire; le deuxième terme par son importance numérique et sa relative constance aux différents lieux où on l'étudie a depuis longtemps retenu l'attention des météorologistes qui se sont efforcés de lui attribuer une interprétation physique.

On sait que l'amplitude et la phase du 2ème harmonique, assez uniforme selon la longitude, décroissent de l'équateur vers les pôles. Haurwitz (6), après d'autres, a attaqué le difficile problème en décomposant l'onde semi-diurne en une partie qui suit le soleil et une partie fixe par rapport à la terre. Le procédé, quoique arbitraire et purement formel, est intéressant; il ne résoud pas le problème physique. Mon propos n'est pas d'apporter ici une quelconque solution nouvelle, et je n'insiste pas.

Les valeurs du tableau 4 suggèrent une remarque. Le coefficient du premier terme fait ressortir l'amplitude particulièrement forte de la variation diurne à Montreux et surtout à Sion déjà signalée au paragraphe 6 ci-dessus. Le coefficient du 2ème terme décroît lentement avec l'altitude, fait déjà connu; celui du 3ème terme est en général très petit. Une discussion plus détaillée ne ferait que souligner la complexité du phénomène atmosphérique dont la courbe barométrique est en quelque sorte le révélateur.

8. LA VARIATION DIURNE DE TEMPÉRATURE

Les données ici groupées permettent le calcul, à titre d'indication, de la température moyenne d'une couche d'atmosphère et de sa variation diurne à partir de la pression. Le calcul a été fait pour la vallée du Rhône et pour l'année seulement sur la base des pressions observées à Sion (500 m) et à Testa-Grigia (3500 m), c'est-à-dire pour la tranche de 3000 m d'épaisseur en cette région des Alpes. La figure 3 représente la courbe diurne (a) de l'écart à la moyenne calculé d'heure en heure. La marche diurne est une courbe simple à deux extrema seulement: un minimum à 8 h, un maximum vers 16 ou 17 h et une inflexion à 0 et 12 h.

Il me reste à mentionner deux aspects secondaires de la variation diurne de pression: son effacement occasionnel dans des circonstances particulières de l'évolution du temps, puis l'effet sur les brises normales dans la vallée du Rhône.

9. L'EFFACEMENT DANS L'ADVECTION FROIDE

La variation diurne de la pression est constamment présente, jour après jour, en dépit des variations aperiodiques beaucoup plus fortes dues aux grands mouvements atmosphériques et aux changements de masse; elle se trouve cependant parfois masquée par ceux-ci. Il est même des cas où elle disparaît presque entièrement, alors même que le champ isobarique régional reste à peu près inchangé. On observe en effet de temps à autre une journée au cours de laquelle la pression, en un lieu donné, ne varie pour ainsi dire pas. En voici deux exemples choisis parmi bien d'autres que l'on peut relever soit au sein d'ilots froids quasi stationnaires, soit au cours d'un lent changement de masse.

Le 6 mars 1976, le ciel est nuageux le matin (ac), puis clair l'après-midi; l'insolation à Lausanne s'élève à 5,7 heures, soit environ le 52 %. Mais il y a de la bise de 30 à 40 km/h. En altitude le courant est de nord-ouest sur le flanc sud-ouest d'un vaste flot froid qui a persisté pendant trois semaines sur la partie orientale du continent européen. La Suisse se trouve donc dans un afflux d'air froid d'origine continentale et sub-polaire qui fait baisser fortement la température, laquelle est de 0° à tous les niveaux et descend jusqu'à -25° au Jungfrauoch ce jour-là.

Or la pression ce 6 mars au Mont sur Lausanne est la même à 0 et 24 h; elle baisse faiblement le matin, puis remonte très lentement avec une amplitude totale de 0,8 mm. La variation "normale" est à peine discernable dans une troposphère en train de se refroidir fortement.

Autre exemple: Le 7 avril 1976, le ciel était couvert d'altostratus élevé; il a plu de 10 à 15 h et il n'y avait pour ainsi dire pas de vent au sol. En altitude régnait un

courant faible de nord qui tourne au nord-ouest en fraîchissant. Il y a manifestement un lent changement de masse au cours du jour et on note une baisse de température de l'ordre de 10° à 15° en 48 heures dans toute la troposphère. Le barogramme du Mont est reproduit sur la figure 3 (courbe b) avec en pointillé la courbe normale des jours calmes du mois d'avril. Après une légère baisse dans la nuit du 6 au 7, la pression reste invariable de 12 à 24 h; le minimum de l'après-midi a totalement disparu (7 lectures barométriques).

Dans les deux cas il y a refroidissement général de la troposphère qui supprime le rythme usuel du réchauffement diurne et efface de la courbe de pression l'ondulation habituelle liée à ce réchauffement.

10. LE GRADIENT HORIZONTAL DU LAC LÉMAN AU VALAIS

Les données numériques utilisées dans ce qui précède suggèrent de jeter un coup d'oeil sur le régime régnant normalement entre la région du Léman et le Valais central, régime que j'ai eu l'occasion de décrire en d'autres études (2, 3).

Il suffit de mettre en regard les écarts à la normale à Montreux d'une part et à Sion de l'autre, puis de calculer les différences pour avoir le gradient de pression entre les deux points distants de 62 km en suivant l'axe de la vallée, de 40 km en ligne droite. Je me suis borné aux deux mois d'hiver (décembre et janvier), aux deux mois d'été (juin et juillet) et à l'année; j'ai obtenu les nombres du tableau 5 et la courbe c de la figure 3 où le gradient est compté positivement de Montreux vers Sion.

Le gradient est dirigé la nuit du Valais vers le Léman; en sens inverse le jour; il est très faible en hiver, pratiquement nul, et augmente fortement en été. Les moments d'annulation dans la saison chaude correspondent à moins d'une heure près aux renverses des brises remontantes et descendantes observées dans toute la vallée, du Léman à Fiesch.

Ce gradient est évidemment celui qui s'établit lorsque la pression est uniforme sur toute la Suisse ce qui peut se produire par situation anticyclonique ou par marais barométrique. En fait il existe le plus souvent un gradient général dirigé du nord au sud sur la région alpine, de sorte que les valeurs du tableau 5 augmentent et que l'excès de pression à Montreux pendant le jour s'accroît; la brise d'aval est alors renforcée entre les renverses qui s'écartent l'une de l'autre. Si la situation de bise ou de noroît se développe et que croît son gradient général, il peut arriver que la brise remontante persiste en Valais toute la journée, sans renverse aucune.

En revanche, si le gradient en Europe centrale est dirigé du sud au nord et rend probable une situation de foehn, les valeurs du tableau 5 diminuent et peuvent cas échéant devenir toutes négatives. Il y a alors excès de pression en Valais: le calme règne dans la vallée, mais le foehn peut y faire brusquement irruption.

L'observation des brises du régime normal et le calcul du gradient régional s'accordent parfaitement. Lorsque ce gradient est faible, ce qui est le cas dans la saison froide, les brises le sont également; on sait que la brise remontante est alors de très courte durée ou même inexistante. Lorsque le gradient devient important, cela dès le printemps et pendant l'été, la brise remontante prend de l'ampleur et de la durée; celle d'amont par contre reste en toutes saisons très modérée.

En régime troublé, c'est-à-dire par gradient général notable, on observe comme je l'ai dit soit la brise remontante renforcée par excès de pression au nord des Alpes, soit le foehn par excès au sud. Le premier cas est passablement plus fréquent que le second.

Remarquons enfin qu'en choisissant au bord du Léman un point de comparaison plus éloigné du Valais que Montreux, tel que Lausanne ou Genève, le gradient du tableau 5 serait accru d'environ 30 % en été.

Le mécanisme des brises alternées du Valais est ainsi entièrement expliqué.

TRAVAUX CITÉS OU CONSULTÉS

1. Annalen der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt
2. Bouët, M. - Le vent en Valais. Mém. Soc. vaudoise Sc. nat., No. 79, vol. 12. Lausanne. 1961
3. Bouët, M. - Climat et météorologie de la Suisse romande. Payot. Lausanne. 1972
4. Eggenberger, S. - Beitrag zu den Untersuchungen des Luftdruckes in der Schweiz. Thèse. Zürich. 1944
5. Hann, J. und Süring, R. - Lehrbuch der Meteorologie. Leipzig. 1926
6. Haurwitz, B. - The geographical distribution of the solar semi-diurnal pressure oscillation. Met. Papers, 2, No. 5. New York. 1956.
7. Plantamour, E. - Du climat de Genève. Genève. 1863
8. Rosenau, N. + Striem, H.L. - The mean daily variation of barometric pressure, its characteristics and its constituents, in Israel and neighbouring countries. Arch. f. Met. und Bioklimat., A, 24, Wien. 1975.

LÉGENDES DES FIGURES

- Fig. 1 - Variation diurne de la pression à Genève (G), Montreux (M) et Sion (S).
Ecart à la moyenne, pour l'année (H.E.C.)
- Fig. 2 - Variation diurne de la pression à cinq niveaux différents. Ecart à la
moyenne, pour l'année (H.E.C.)
- Fig. 3 - a) Variation diurne de la température de la tranche comprise entre 500
et 3500 m en Valais (H.E.C.)
b) Variation diurne de la pression au Mont sur Lausanne le 7 avril 1976
avec en pointillé la courbe normale d'avril
c) Différence de pression entre Montreux et Sion. Ecart à la moyenne,
pour l'année. Les flèches indiquent les époques moyennes des renverses
de brise du matin et du soir.

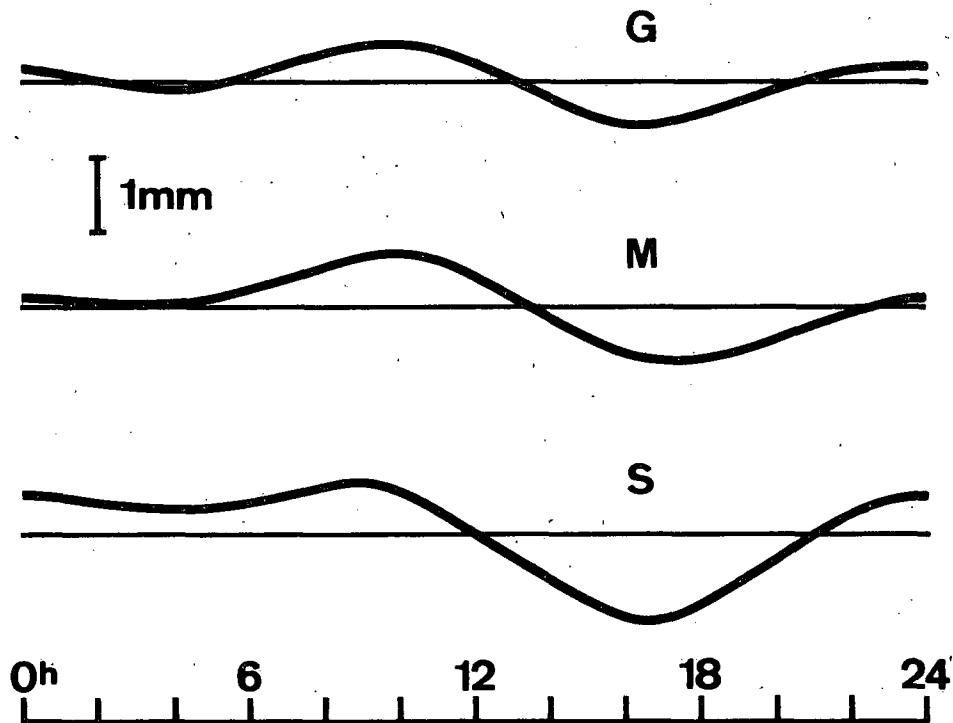


Fig. 1

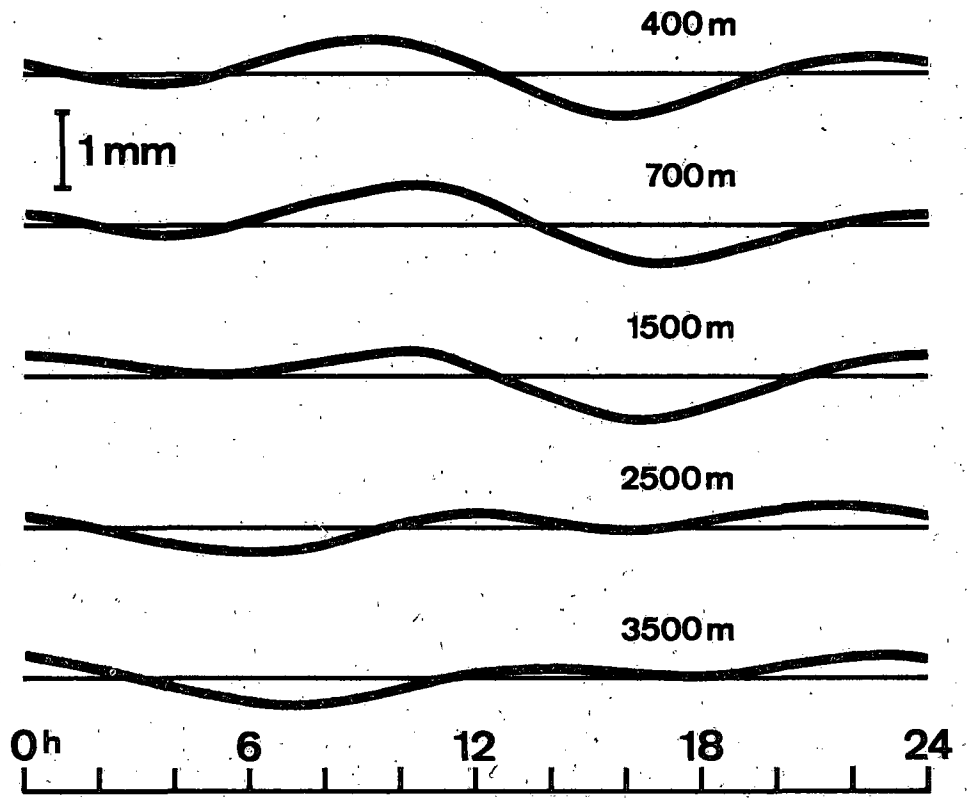


Fig. 2

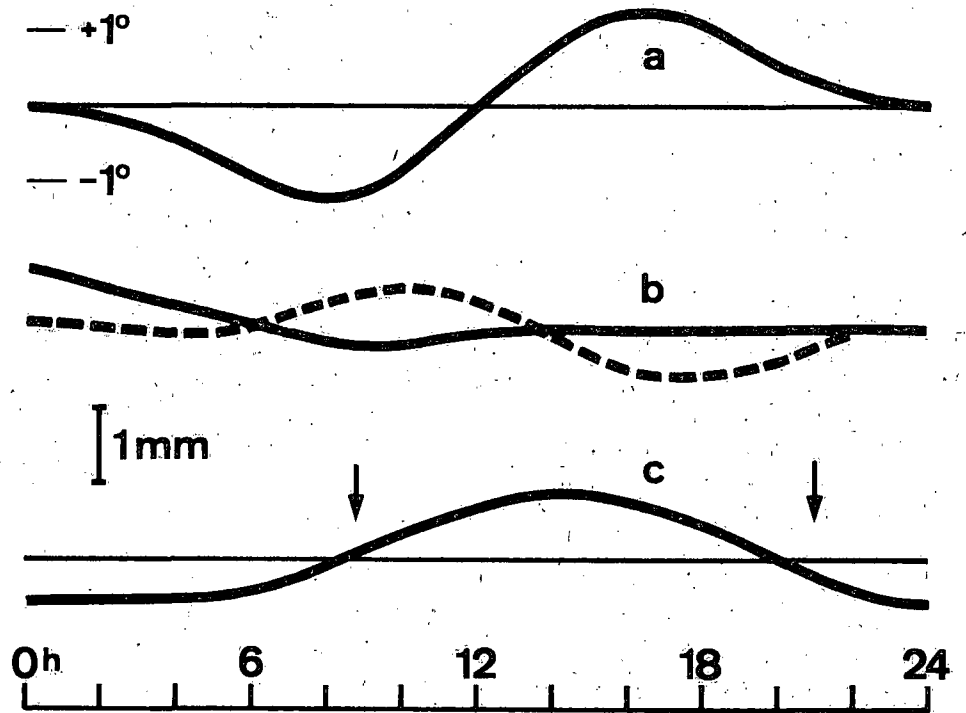


Fig. 3

TABLEAU 1: VARIATION DIURNE DE LA PRESSION: ÉCARTS À LA MOYENNE D'HEURE EN HEURE
EN CENTIÈMES DE MILLIMÈTRES
H = HIVER E = ÉTÉ A = ANNÉE (H.É.C.)

Heure		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Genève	H	10	00	-15	-25	-30	-25	-15	05	25	45	50	40	20	00	-20	-40	-40	-30	-20	00	10	20	20	15
	E	30	25	20	15	15	20	30	35	45	40	35	25	10	-10	-25	-45	-60	-70	-70	-55	-35	-10	10	25
	A	20	10	00	-10	-10	-05	05	20	35	45	45	35	20	-05	-30	-45	-55	-55	-45	-25	-05	10	20	25
Montreux	H	10	10	05	00	-05	-05	00	10	25	40	50	50	25	-05	-30	-50	-50	-40	-30	-20	-05	00	05	10
	E	10	10	10	15	15	30	45	65	80	85	80	60	40	15	-15	-40	-70	-90	-95	-95	-75	-50	-25	-05
	A	10	10	05	00	05	10	25	40	55	70	70	65	40	10	-20	-45	-65	-75	-70	-60	-45	-25	-10	00
Le Mont.	H	15	10	00	-05	-10	-10	-05	05	15	30	45	50	30	00	-30	-45	-45	-35	-25	-15	-05	05	10	15
	E	15	10	-05	00	05	00	10	25	35	40	45	40	25	10	-10	-25	-45	-55	-55	-45	-30	-10	05	15
	A	15	10	00	-05	-05	-05	05	15	30	40	50	50	35	10	-15	-35	-45	-50	-45	-35	-20	-10	00	10
Sion	H	25	25	20	15	10	05	00	00	10	30	45	40	15	-15	-40	-60	-70	-60	-40	-15	00	15	20	25
	E	70	70	65	60	65	80	90	100	95	75	50	10	-25	-60	-90	-120	-135	-150	-135	-110	-70	-20	25	60
	A	50	50	45	40	35	35	40	50	60	70	55	30	00	-35	-60	-90	-115	-120	-100	-70	-35	-05	25	45
Montana	H	15	10	05	00	-05	-05	-05	00	15	30	35	30	15	-05	-25	-45	-45	-35	-20	-05	05	10	10	15
	E	30	25	20	10	05	10	15	25	30	35	25	15	00	-15	-30	-45	-55	-60	-55	-35	-15	10	25	30
	A	30	25	15	10	05	00	05	10	20	30	30	25	10	-10	-30	-45	-55	-55	-45	-25	-05	10	20	25
Saentis	H	10	05	00	-05	-10	-20	-25	-20	-05	05	20	25	10	-05	-20	-15	-10	-05	05	10	10	15	15	10
	E	20	05	-10	-30	-40	-45	-45	-35	-25	-15	-05	05	15	20	20	15	10	10	10	15	20	25	30	30
	A	15	05	-05	-20	-30	-35	-35	-30	-20	-10	05	10	15	10	05	00	00	05	10	15	20	25	25	20
Testa-Grigia	H	15	15	15	10	00	-10	-20	-25	-20	-10	00	10	15	10	05	-10	-15	-15	-10	-05	05	10	15	15
	E	25	20	10	-05	-20	-30	-35	-40	-35	-30	-20	-10	00	10	15	20	20	15	10	10	10	15	20	25
	A	25	20	15	00	-15	-25	-35	-40	-35	-25	-15	00	05	10	10	05	05	05	05	05	10	20	25	25
Zurich	A	20	15	05	-05	-10	-10	-05	10	25	35	40	35	15	-05	-30	-40	-45	-45	-35	-20	00	10	20	20

TABLEAU 2: VARIATION DIURNE DE LA PRESSION ÉPOQUES DES EXTREMA EN TEMPS LOCAL MOYEN

	1er minimum					1er maximum							2ème minimum						
	Genève	Montreux	Le Mont	Montana	Saentis	Genève	Montreux	Le Mont	Montana	Saentis	Sion	T. Grigia	Genève	Montreux	Le Mont	Montana	Saentis	Sion	T. Grigia
	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h
Janvier	4,0	4,0	4,0	5,0	5,8	9,6	9,7	10,0	9,7	10,6	10,2	12,1	15,0	15,3	15,0	15,3	14,1	15,8	17,0
Février	3,6	3,5	3,7	4,7	5,7	9,4	9,5	9,9	9,6	11,3	10,0	12,6	15,6	16,0	16,0	15,6	14,7	16,2	17,2
Mars	3,3	3,0	3,4	4,3	5,4	9,1	9,3	9,7	9,2	12,1	9,7	13,4	16,0	16,7	16,7	16,0	15,6	16,5	17,6
Avril	3,1	2,3	3,2	4,0	5,0	8,8	9,0	9,5	8,7	13,2	9,0	14,2	16,4	17,3	17,2	16,3	16,4	16,8	18,0
Mai	3,0	1,5	3,0	3,9	4,8	8,5	8,8	9,2	8,2	13,8	8,2	14,9	16,5	17,5	17,4	16,5	16,9	17,0	18,5
Juin	3,0	1,0	3,0	3,9	4,6	8,4	8,7	9,1	8,0	13,8	7,9	15,3	16,6	17,6	17,5	16,6	17,1	17,2	18,9
Juillet	3,0	1,0	3,0	4,0	4,7	8,4	8,7	9,1	8,1	13,5	8,0	15,3	16,6	17,7	17,5	16,5	17,1	17,2	19,0
Août	3,1	1,3	3,2	4,3	5,0	8,6	8,9	9,3	8,4	12,9	8,3	14,9	16,6	17,5	17,4	16,3	16,9	17,0	18,7
Septembre	3,3	1,8	3,4	4,7	5,3	8,8	9,2	9,6	8,8	12,0	9,0	14,1	16,4	17,0	16,7	16,0	16,3	16,7	18,3
Octobre	3,5	2,5	3,6	4,9	5,5	9,0	9,4	9,8	9,1	11,3	9,5	13,1	15,8	16,3	16,2	15,6	15,3	16,4	17,7
Novembre	3,8	3,5	3,8	5,0	5,7	9,2	9,6	9,9	9,4	10,6	9,8	12,3	15,4	15,6	15,5	15,3	14,6	16,0	17,4
Décembre	4,0	4,0	4,0	5,0	5,8	9,5	9,7	10,0	9,6	10,4	10,1	12,0	15,0	15,1	15,1	15,1	14,1	15,8	17,1
Année	3,5	2,4	3,4	4,5	5,2	8,9	9,2	9,6	8,9	12,1	9,1	13,7	16,0	16,6	16,5	15,9	15,7	16,5	17,9

Premier minimum: Sion, mal défini, vers 6h en hiver, vers 4h en été

Testa-Grigia, vers 7h toute l'année

TABLEAU 3: VARIATION DIURNE DE LA PRESSION: AMPLITUDES TOTALES EN MILLIMÈTRES

	Genève	Montreux	Le Mont	Sion	Montana	Saentis	Zurich
Janvier	1,00	1,15	1,00	1,35	0,80	0,50	0,80
Février	1,00	1,30	1,00	1,60	0,85	0,55	0,85
Mars	1,10	1,60	1,05	1,85	0,90	0,65	0,90
Avril	1,15	1,90	1,10	2,10	1,00	0,75	1,00
Mai	1,10	2,00	1,05	2,30	1,00	0,80	1,00
Juin	1,05	1,95	0,95	2,55	0,95	0,85	0,95
Juillet	1,10	1,85	0,90	2,60	0,95	0,85	0,90
Août	1,20	1,70	1,00	2,45	1,00	0,80	0,90
Septembre	1,20	1,60	1,05	2,20	1,05	0,70	0,95
Octobre	1,10	1,40	1,05	1,90	1,00	0,65	0,90
Novembre	0,95	1,20	1,00	1,50	0,95	0,50	0,85
Décembre	0,85	1,05	0,95	1,20	0,90	0,45	0,75
Année	1,05	1,45	1,00	1,95	0,95	0,65	0,90

TABLEAU 4: VARIATION DIURNE DE LA PRESSION: PARAMÈTRES DU DÉVELOPPEMENT EN SÉRIE DE FOURIER. TEMPS LOCAL MOYEN
H = HIVER. E = ÉTÉ. A = ANNÉE

		a	b	c	A	B	C
Genève	H	0,12	0,35	0,048	340 ⁰	147 ⁰	309 ⁰
	E	0,45	0,25	0,057	18	144	157
	A	0,28	0,32	0,030	25	160	284
Montreux	H	0,23	0,28	0,094	1	159	5
	E	0,73	0,31	0,068	350	143	137
	A	0,28	0,33	0,020	350	148	24
Le Mont	H	0,17	0,22	0,081	1	140	5
	E	0,31	0,26	0,038	354	142	152
	A	0,28	0,28	0,032	349	146	353
Montana	H	0,16	0,24	0,088	32	161	344
	E	0,33	0,26	0,037	29	152	170
	A	0,27	0,22	0,029	31	133	325
Sion	H	0,29	0,33	0,125	26	136	127
	E	0,97	0,35	0,130	23	144	132
	A	0,75	0,41	0,004	19	136	157
Testa Grigia	H	0,08	0,16	0,070	113	70	250
	E	0,26	0,15	0,000	158	60	0
	A	0,22	0,16	0,019	48	76	302
Saentis	A	0,21	0,16	0,027	179	133	337
Zurich	A	0,20	0,24	0,047	26	134	54

TABLEAU 5: GRADIENT MOYEN DE PRESSION ENTRE MONTREUX ET SION, OU DIFFÉRENCE DE PRESSION M - S EN CENTIÈMES DE MILLIMÈTRES (H.E.C.)

Heure	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Hiver	-15	-15	-15	-15	-15	-10	00	10	15	10	05	10
Eté	-60	-60	-60	-55	-50	-50	-45	-35	-15	10	30	50
Année	-40	-40	-40	-35	-30	-25	-15	-10	-05	00	10	25
Heure	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Hiver	10	10	10	10	20	20	10	00	-10	-15	-15	-15
Eté	65	75	80	80	70	55	40	15	-05	-30	-50	-55
Année	40	45	50	50	45	40	30	10	-10	-20	-35	-40

- Nr. 1a Uttinger H., Die Niederschlagsstunden in Zürich.
22 Seiten, 1962
- Nr. 1b Ambrosetti Fl., Die Niederschlagsstunden in Locarno-Monti.
12 Seiten, 1965
- Nr. 2 Thams J.C., unter Mitarbeit von A. Aufdermaur, P. Schmid und E. Zenone.
Die Ergebnisse des Grossversuches III zur Bekämpfung des Hagels im
Tessin in den Jahren 1957-1963.
32 Seiten, 1966 (vergriffen)
- Nr. 3 Grütter M., Die bemerkenswertesten Niederschläge der Jahre
1948-1964 in der Schweiz.
20 Seiten, 1966
- Nr. 4 Schram K. und Thams J.C., [Redaktion], 9. Internationale Tagung für Alpine
Meteorologie in Brig und Zermatt, 14.-17. September 1966.
366 Seiten, 1967
- Nr. 5 Ambrosetti Fl. und Thams J.C., Die direkte Sonnenstrahlung auf die Flächen eines
nach Süden orientierten Würfels ohne Grundfläche in Locarno-Monti.
16 Seiten, 1967
- Nr. 6 Schram K. und Thams J.C., Der Tagesgang der Abkühlungs- und
Aufwärmungsgrösse in Locarno-Monti.
20 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 7 Ambrosetti Fl., Schram K. und Thams J.C., Die Intensität der direkten
Sonnenstrahlung in verschiedenen Spektralbereichen in
Locarno-Monti.
13 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 8 Uttinger H., Die Zahl der Tage mit Windspitzen von mindestens
20 Metern pro Sekunde in Zürich (1934-1967).
22 Seiten, 1968
- Nr. 9 Mäder F., Untersuchung über die Windverhältnisse in Bodennähe
bei verschiedenen Wetterlagen.
42 Seiten, 1968
- Nr. 10 Schram K., Die Windverhältnisse in der bodennahen Luftschicht
an einem Hang von etwa 25 Grad Neigung.
13 Seiten, 1968
- Nr. 11 Schüepp M., Kalender der Wetter- und Witterungslagen von 1955 bis 1967.
44 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 12 Ackermann P., Die neue Radiosondenstation Payerne
der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt.
36 Seiten, 1968 (vergriffen)
- Nr. 13 Junod A., Contribution à la méthodologie granulométrique
des aérosols amicroscopiques.
70 Seiten, 1969
- Nr. 14 Joss J., Schram K., Thams J.C., Waldvogel A., Untersuchungen zur quantitativen
Bestimmung von Niederschlagsmengen mittels Radar.
37 Seiten, 1969 (vergriffen)
- Nr. 15 Courvoisier H.W., Die quantitative Niederschlagsprognose winterlicher
zyklonaler Witterungslagen auf der Alpennordseite der Schweiz.
15 Seiten, 1970 (vergriffen)

- Nr. 16 Schram Karin und Thams J.C., Die kurzweilige Globalstrahlung und die diffuse Himmelsstrahlung auf dem Flugplatz Zürich-Kloten. 18 Seiten, 1970
- Nr. 17 Kasser P., Schram Karin und Thams J.C., Die Strahlungsverhältnisse im Gebiet der Baye de Montreux. 46 Seiten, 1970
- Nr. 18 Gutermann Th., Vergleichende Untersuchungen zur Föhnhäufigkeit im Rheintal zwischen Chur und Bodensee. 68 Seiten, 1970
- Nr. 19 Ginsburg Theo, Die statistische Auswertung von langjährigen Temperaturreihen. 42 Seiten, 1970
- Nr. 20 Primault B., Du risque de gel et de sa prévision. 20 Seiten, 1971
- Nr. 21 Piaget A., Utilisation de l'ozone atmosphérique comme traceur des échanges entre la troposphère et la stratosphère. 72 Seiten, 1971
- Nr. 22 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen. 24 Seiten, 1971
- Nr. 23 Kirchhofer W., Abgrenzung von Wetterlagen im zentralen Alpenraum. 72 Seiten, 1971
- Nr. 24 Primault B., Le climat, élément du plan d'aménagement. Das Klima, eine der Grundlagen der Landesplanung. The climate as an element of the land management. 28 Seiten und eine Karte, 1971
- Nr. 25 Fröhlich C. und Wierzejewski, Die verschiedenen Messverfahren zur Bestimmung der Strahlungsintensität mit dem Kompensationspyheliometer und die Entwicklung eines verbesserten Modells. 36 Seiten, 1972
- Nr. 26 Bouët M., Le foehn du Valais. 12 Seiten, 1972
- Nr. 27 Zenone E., Die Gewitterverhältnisse in den südlichen Zentralalpen und Voralpen (Fortsetzung von Nr. 22).
II Die einzelnen Gewitter und ihre Verteilung.
III Die Dauer der Gewitter. 32 Seiten, 1972
- Nr. 28 Catzeflis J., Primault B., Strehler H., Analyse de la pluviosité dans le Valais central. 15 Seiten, 1972
- Nr. 29 Courvoisier H.W., Die Niederschlagswirksamkeit markanter, hochreichender Kaltlufteinbrüche im Sommer in der Schweiz. 11 Seiten, 1973
- Nr. 30 Seyruk B., Erfahrungen mit Totalisatoren mit schiefen, geneigten und bodenebenen Auffangflächen im Einzugsgebiet der Baye de Montreux. Einfluss der Temperatur auf die Messung des Niederschlages mit Totalisator. 44 Seiten, 1973
- Nr. 31 Strehler H., Beziehung zwischen Witterung und Zuckerrübenmerkmalen im Spätsommer. 20 Seiten, 1975
- Nr. 32 Courvoisier H.W., Katalog objektiv-statistischer Wetterprognosen für die Alpensüdseite und das Oberengadin. 24 Seiten, 1975

- Nr. 33 Primault B., Essais d'évaluation climatologique du risque de gel.
28 Seiten, 1975
- Nr. 34 Kirchhofer W., Stationsbezogene Wetterlagenklassifikation:
50 Seiten, 1976
- Nr. 35 Piaget A., L'évolution orageuse au nord des Alpes
et la tornade du Jura vaudois du 26 août 1971
114 Seiten, 1976
- Nr. 36 Bouët M., Contribution à l'étude de la variation diurne
de pression en Suisse Romande.
23 Seiten, 1976

