

Tirage à part des «Annales de la Station centrale suisse de Météorologie» (1955)

---

**La relation entre la nébulosité  
et la durée d'insolation et ses conséquences  
pour la climatologie appliquée de la Suisse**

Thèse

présentée à la Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel  
pour obtenir le titre de docteur ès sciences

par

**Erich Nagel**

licencié ès sciences

Observatoire physico-météorologique de Davos

La Faculté des Sciences de l'Université de Neuchâtel sur le rapport de Messieurs les Professeurs W. Mörkofer, Ed. Guyot et D. Aubert, autorise l'impression de la présente thèse, intitulée «Relation entre la nébulosité et la durée d'insolation et ses conséquences pour la climatologie appliquée de la Suisse», sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont contenues.

Le Doyen: *Adrien Perret*

Neuchâtel, le 5 novembre 1956.

# La relation entre la nébulosité et la durée d'insolation et ses conséquences pour la climatologie appliquée de la Suisse

par

Erich Nagel

Observatoire physico-météorologique de Davos

## I. Le Problème

Il existe une relation entre la nébulosité et la durée d'insolation d'un lieu, car si l'on admet que la nébulosité montre en moyenne une distribution uniforme sur toute la surface du ciel, on pourra également admettre que le long de la trajectoire journalière du soleil, la durée d'insolation dépendra directement du degré de nébulosité. Cette relation joue aussi bien pour les valeurs mensuelles et annuelles que pour celles de chaque jour ainsi qu'une étude de G. Perl (27) le démontre pour Zurich, Davos et Lugano.

Il est clair que si l'on veut exprimer ce rapport d'une façon définie, il faut représenter les deux grandeurs, c'est-à-dire la nébulosité et la durée d'insolation dans les mêmes unités. La nébulosité s'exprimant partout dans les stations climatologiques de Suisse en dixièmes de la surface du ciel qu'elle recouvre, il est aisé d'exprimer les moyennes en pour-cents. D'autre part, si l'on représente la durée d'insolation au moyen de l'insolation relative, qui exprime en pour-cents le rapport entre la durée d'insolation effective et la durée possible de celle-ci, cette grandeur sera représentée de façon analogue.

Ainsi on pourrait s'attendre à voir confirmée une règle bien simple et déjà souvent mentionnée (Hann [10], Conrad [4], König [16]) qui établirait que la somme de la durée d'insolation relative (S) et du degré de nébulosité (N) serait égale à 100 % d'après la formule  $S + N = 100 \%$ , attendu qu'une de ces grandeurs devrait être le complément de l'autre. Pourtant l'expérience montre que les calculs ne vérifient pas cette relation, bien plus, la somme  $S + N$  s'écarte systématiquement du résultat attendu de 100 %, si bien que nous avons

$$\begin{aligned} S + N &\neq 100 \% \\ S + N &= 100 + \Delta \end{aligned}$$

Cette somme est supérieure en été, par contre plutôt égale ou inférieure à 100 % en hiver, c'est-à-dire que  $\Delta$  peut être négatif et positif selon la saison. Son amplitude au cours de l'année est de 10 % en moyenne.

Cette variation a déjà été étudiée par plusieurs auteurs (Hann [10], Conrad [4], Lunclund [18], Wagner [34], etc.) et sa répartition saisonnière semble être générale, si bien qu'une nouvelle étude de cette question ne saurait profiter utilement aux connaissances déjà acquises sur ce sujet.

Si dans ce travail on examine malgré tout la somme  $S + N$  et ses écarts par rapport à 100 %, pour diverses stations de la Suisse, où l'insolation et la nébulosité ont été enregistrées et observées simultanément pendant de nombreuses années, c'est que nous poursuivons un but défini, où cette somme ne jouera qu'un rôle purement pratique.

En 1951, selon les Annales de la Station Centrale Suisse de Météorologie, le nombre des stations observant la nébulosité à raison de 3 fois par jour était de 116, c'est-à-dire plus du triple des 34 stations enregistrant la durée d'insolation. Nous possédons ainsi les résultats de l'observation de la nébulosité pour un grand nombre de stations sans avoir de données assez précises sur leur durée d'insolation. S'il était possible d'établir que la variation de la somme  $S + N$  est identique dans plusieurs stations d'une même région climatique, pour lesquelles nous aurions des données assez longues tant sur la durée d'insolation que sur la nébulosité, il nous serait possible de calculer, à partir des résultats de l'observation de la nébulosité, des moyennes approximatives de la durée d'insolation relative pour les stations où elle n'est pas enregistrée.

Si l'on a déterminé la durée possible d'insolation des lieux en question, il sera facile d'en déduire également la durée moyenne effective de l'insolation. Pour déterminer la durée possible, on peut se servir d'un théodolite transformé à cet effet (théodolite-héliochronomètre, Taghogenmesser)<sup>1</sup> pour mesurer les trajectoires solaires de chaque jour de l'année. Cette méthode de détermination de l'insolation effective aurait l'avantage de faire connaître, en très peu de temps, une moyenne approchée de la durée d'insolation d'un lieu, alors qu'avec un héliographe, des résultats probants ne seraient obtenus qu'après quelques années au moins d'enregistrements continus.

<sup>1</sup> L'héliochronomètre est un instrument qui permet de suivre un astre pendant sa course journalière. Il s'agit soit d'instruments généraux utilisés dans la marine (Mercanton [23]), soit de théodolites ordinaires ou de ballons-pilotes munis d'un dispositif auxiliaire (Wierzejewski voir Thams [32 et 33], Schüepp [29]), soit enfin d'appareils conçus et exécutés spécialement dans le but de mesurer la durée d'insolation géographique possible (Schmidt [28], Brückmann).

Il est évident que les résultats ainsi obtenus ne sauraient rivaliser d'exactitude avec les données d'un héliographe, malgré tous les défauts de cet appareil. Mais peut-être sera-t-il tout de même possible d'obtenir, dans de nombreux cas, des moyennes suffisamment exactes et propres à fournir des renseignements utiles à la connaissance du climat radiatif de diverses stations dont on ne connaît que les moyennes de la nébulosité. Il ne s'agit donc pas de vouloir esquisser une étude systématique du climat solaire de toute la Suisse mais plutôt de préciser celui de lieux déterminés, dont il n'existe que des résultats de l'observation de la nébulosité, mais pas d'enregistrements de la durée d'insolation.

L'étude des valeurs mensuelles et annuelles de la somme  $S + N$  permettra encore d'obtenir un résultat important quoique secondaire; elle pourra fournir une preuve de la valeur des observations de la nébulosité de stations disposant d'un héliographe ainsi que des résultats des enregistrements de la durée d'insolation. L'homogénéité de ceux-ci pourra également être contrôlée, en comparant diverses stations entre elles et en étudiant les valeurs de  $\Delta$  au cours des années. De cette façon diverses erreurs et leurs sources pourront parfois être très facilement décelées et expliquées, comme cela est le cas pour certaines stations examinées de cette étude.

## II. Les éléments de la méthode

### A. La somme des moyennes de la durée d'insolation relative et de la nébulosité en Suisse

Les calculs des moyennes de  $S$  et de  $N$  ont été faits à partir des données publiées dans les Annales de la Station Centrale Suisse de Météorologie.

$S$  représente la durée d'insolation relative moyenne, c'est-à-dire la durée d'insolation effective exprimée en pour-cents de la durée possible.

Pour déterminer la durée d'insolation relative, nous avons utilisé comme durée d'insolation possible les éléments obtenus en retenant les enregistrements de chaque héliographe pendant les jours serains (durée «effectivement possible» selon Conrad [5]). Ces calculs ont été faits à l'Observatoire physico-météorologique de Davos.

$N$  exprime la moyenne de la nébulosité en pour-cents de la surface du ciel.

Le Tableau 1 représente les sommes  $S + N$  pour quelques stations de la Suisse et pour des périodes pendant lesquelles les éléments  $S$  et  $N$  ont été enregistrés et observés simultanément.

Tableau 1

Valeurs mensuelles et variation annuelle de la somme  $S + N$ .

	Davos 1886-1950	Berne 1887-1950	Zurich 1886-1950	Neuchâtel 1904-1950	Lugano 1886-1950	Saentis 1921-1950
Janvier	101	99	99	99	96	100
Février	104	101	100	101	100	102
Mars	106	102	100	104	101	104
Avril	107	106	104	108	102	104
Mai	108	107	106	111	105	104
Juin	110	110	108	111	106	103
Juillet	111	109	108	111	106	105
Août	110	109	107	109	105	105
Septembre	108	107	104	105	103	106
Octobre	107	105	102	101	101	105
Novembre	103	102	100	99	98	102
Décembre	98	99	99	97	95	101
Année	106	107	108	108	102	103
Amplitude	13	11	9	14	11	6

La variation annuelle de la somme  $S + N$  est typique et semblable pour chaque station.  $\Delta$ , l'écart de la somme  $S + N$  par rapport à 100 %, croît depuis décembre et atteint son maximum en été (juin ou juillet); il diminue ensuite de nouveau jusqu'à son point minimum en décembre. Les six exemples ne sont pas les seuls, ils pourraient être remplacés, à une exception près (Saentis), par toutes les stations disposant de séries prolongées

d'enregistrements de la durée d'insolation et d'observations de la nébulosité.

Cette variation caractéristique a un rythme saisonnier régulier qui fut déjà mentionné par de nombreux auteurs (Goldberg [7], Conrad [4], Wagner [34], Brooks [3], Perl [26 et 27], etc.). Pourtant on peut brièvement noter que sur les hauts sommets (Saentis!) l'enregistrement de la durée d'insolation n'est, en général, pas soumis au même rythme qu'aux stations plus basses. La convection journalière (nuages de beau temps) interrompt très souvent, au début de l'été surtout, l'enregistrement vers le milieu de la journée. Ce fait semble, comme on le verra plus loin, justifier le fait particulier que le maximum de  $\Delta$  se situe en septembre, au moment où cet effet de convection cesse d'être important sur les sommets.

Il sera utile de s'arrêter brièvement aux raisons qui président à ce rythme caractéristique de  $\Delta$  en se référant surtout aux publications de Linke (17) et de Perl (26). Les écarts par rapport à la valeur idéale  $S + N = 100\%$  sont dus tant au rayonnement du soleil à travers une couche de nuages fins et transparents, qu'aux propriétés mêmes de l'héliographe à boucle de Campbell-Stokes.

On peut généralement admettre que la présence de nuages transparents change, au profit de  $S$ , l'équilibre idéal qui devrait exister entre  $S$  et  $N$ , car le ciel peut être recouvert de nuages transparents sans que l'irradiation du soleil soit interrompue pour autant, et sans que l'enregistrement de la durée d'insolation ne subisse d'interruption (C. E. P. Brooks [3]), tandis que, suivant les prescriptions internationales, ces nuages doivent être estimés par l'observateur au même titre que des nuages denses. Il est donc possible d'observer un cirrostratus transparent recouvrant tout le ciel et de noter  $N = 100\%$  sans que la durée d'insolation enregistrée soit diminuée. Une telle situation existe surtout lorsque des nuages du niveau élevé (cirrus, cirrostratus), bien plus rarement du niveau moyen recouvrent une grande partie du ciel, notamment celle où se trouve le soleil. Si ces nuages étaient seuls à provoquer la variation de  $\Delta$ , il serait aisé d'en déduire un rythme annuel de la présence et de la fréquence de ces types de nuages, notamment des cirrus. Un travail de G. Perl (26) à ce sujet,

qui étudie une période de cinq années pendant lesquelles à Davos, les cirrus d'une part, la nébulosité des autres niveaux d'autre part, furent estimés séparément (Tableau 2), démontre qu'il y a à cette altitude jusqu'à deux fois plus de cirrus en hiver qu'en été. C'est exactement le contraire de ce que l'on aurait pu attendre du rythme annuel de  $\Delta$ .

Tableau 2

Valeurs mensuelles de la somme S + N à Davos (octobre 1936—septembre 1941) d'après G. Perl (26).

a) en tenant compte des nuages du niveau élevé (cirrus)  
b) sans tenir compte des nuages du type cirrus

	a) S + N	b) S + N
Janvier	108	96
Février	113	99
Mars	112	103
Avril	114	105
Mai	111	104
Juin	113	106
Juillet	115	108
Août	115	108
Septembre	113	105
Octobre	111	102
Novembre	109	98
Décembre	108	98
Année	112	103
Amplitude	7	12

La part de N dans la somme S + N augmente ou diminue évidemment si l'on tient compte ou non des nuages du type cirrus, et son amplitude diminue quelque peu dans le second cas, mais en somme la variation annuelle reste la même. D'autre part,  $\Delta$  n'est pas différent qu'il s'agisse d'une station de montagne ou d'une station du Moyen-Pays<sup>2</sup> par exemple. En hiver surtout, il faudrait nous attendre à des différences sensibles, attendu que le Moyen-Pays peut être recouvert pendant des semaines par une couche dense de stratus, tandis que les régions élevées jouissent du plus beau soleil. Seules les stations de montagne peuvent alors observer des cirrus et en même temps enregistrer l'insolation. La différence de  $\Delta$  est minime et pas toujours caractéristique, car, aussi bien dans ces stations que dans les autres, le minimum de  $\Delta$  se situe en décembre. La variation annuelle de  $\Delta$  ne peut donc pas être attribuée uniquement à la présence des nuages du niveau élevé. Ceux-ci, il est vrai, augmentent la part de N dans la somme S + N et sont sûrement à l'origine des sommes parfois plus élevées dans les stations de haute montagne en hiver, mais n'influencent pas le rythme général de  $\Delta$  au cours de l'année (cf. les valeurs de Zurich, Berne, Davos, Arosa).

On sait depuis longtemps déjà (voir Maurer [20], Wagner [34], Linke [17], Bider [1] que l'héliographe de Campbell-Stokes n'enregistre plus l'insolation quand le soleil se trouve à moins de 4 à 5° au-dessus de l'horizon (à Bâle jusqu'à plus de 7° à certains mois; l'appareil en service depuis 1929 semble d'ailleurs être moins sensible que le précédent) et que l'intensité de son rayonnement est inférieure à 0,3 g cal/cm<sup>2</sup> min environ (Bider [1]). D'autre part il enregistre une trop longue durée d'insolation lorsque le rayonnement du soleil est intermittent, c'est-à-dire dès qu'insolation et nébulosité se

suivent rapidement, ce qui se produit souvent par nuages de convection. Dans ces situations, les moments pendant lesquels le soleil brille sont mis davantage en évidence sur le papier enregistreur que ceux où il reste caché par les nuages; très souvent, ils ne peuvent même plus être constatés (voir Goldberg [7]). Cet effet est plus efficace à mesure que le soleil s'élève au-dessus de l'horizon: ainsi il est plus remarquable en été lorsque la nébulosité convective est plus forte qu'aux autres saisons. De cette façon  $\Delta$  reflète en été un effet de surecalcination du papier enregistreur, augmentant avec la déclinaison du soleil et le caractère saisonnier de la nébulosité.

En revanche, la nébulosité stratifiée domine en hiver lorsque la hauteur du soleil est faible, ce qui accentue encore un effet de coulisse dû aux nuages proches de l'horizon donc du soleil, qui peuvent de cette façon diminuer la durée d'insolation par rapport à ce que le degré de nébulosité laisserait supposer.

Les mêmes constatations que nous venons de faire pour l'espace d'une année, peuvent se répéter au cours d'un seul jour: le matin et le soir à faible hauteur, le rayonnement du soleil ne laisse pas de trace sur le papier enregistreur, et l'effet de coulisse précité se fait sentir le plus fortement, en plaine surtout; en montagne par contre, l'horizon visible plus élevé atténue ces effets ou peut, à la rigueur, les supprimer. A midi, l'effet de surecalcination se fait sentir, car le soleil est plus élevé au-dessus de l'horizon et il est maximum en été, au moment où la déclinaison du soleil est la plus grande. Il s'y ajoute encore la nébulosité convective qui se forme justement vers le milieu de la journée, en montagne surtout, excepté sur les hauts sommets où le brouillard de beau temps, provoqué par la dite convection, empêche souvent le soleil d'y briller.

Les constatations qui viennent d'être faites rendent plus explicites la variation annuelle de  $\Delta$ , mais montrent en même temps combien il est difficile de déterminer exactement la véritable durée d'insolation à partir des enregistrements de l'héliographe de Campbell-Stokes.

La variation saisonnière de  $\Delta$ , telle que l'illustrent les 6 stations du tableau 1, n'est pas toujours aussi régulière pour toutes les autres stations. La plupart du temps, les irrégularités dans la courbe que celle-ci décrit au cours de l'année sont petites et proviennent de ce que les moyennes de S et de N ne se rapportent pas toujours à un nombre suffisant d'années d'observations et d'enregistrements. En une même station,  $\Delta$  peut varier très fortement d'une année à l'autre par exemple. Il est donc préférable de n'utiliser que des stations disposant d'une série d'observations et d'enregistrements assez longue. Si la courbe annuelle moyenne de  $\Delta$  montre de fortes irrégularités, malgré une moyenne portant sur une longue série de résultats, il faut en rechercher la cause<sup>3</sup>, soit dans

<sup>3</sup> A Braunwald par exemple la courbe de  $\Delta$  montrait une baisse inattendue au cours de l'été, quoique les moyennes de S et de N comprissent 15 années de résultats continus. Il s'avéra, après examen des enregistrements et un contrôle de la durée d'insolation possible, que des arbres proches de l'emplacement de l'héliographe, restreignaient celle-ci chaque année un peu plus, si bien qu'après 15 ans, la durée d'insolation possible avait diminué à certains moments de l'été de plus d'une heure par jour. Des résultats pareils ne sont évidemment pas probants et pour ainsi dire inutilisables.

<sup>2</sup> Moyen-Pays ou Plateau Suisse (Mittelland) est la désignation géographique de la région située entre les Alpes et le Jura d'une part, le lac Léman et le Bodan de l'autre.

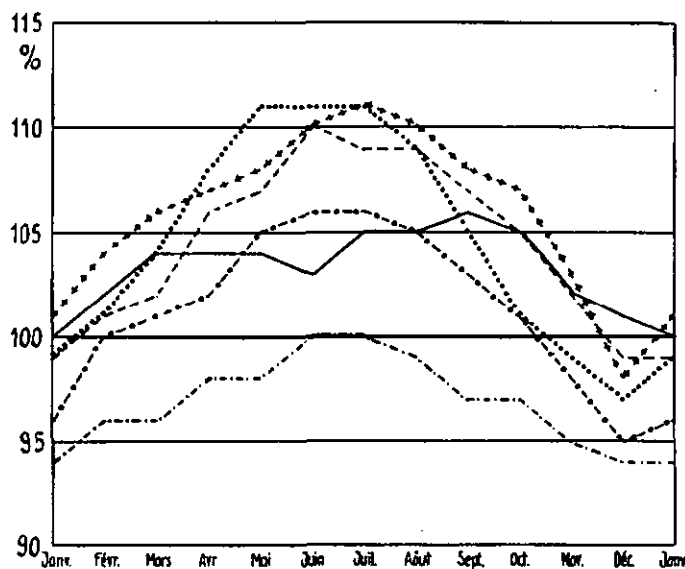
un défaut prononcé de l'héliographe, soit dans une estimation défectueuse de la nébulosité.

Outre ces irrégularités de principe,  $\Delta$ , tout en ayant une variation annuelle régulière, peut montrer des différences importantes d'une station à l'autre. D'habitude, pendant le maximum de l'été la somme S + N dépasse 100 %, en revanche pendant le minimum de l'hiver elle est inférieure ou égale, rarement supérieure à cette somme. Ceci correspondrait à nos prévisions si l'on tenait compte des remarques faites plus haut au sujet de l'enregistrement de la durée d'insolation. Tout ceci laisserait supposer que  $\Delta$  n'est pas une grandeur variable d'une station à l'autre et que, dans les grandes lignes, elle devrait être à peu près la même partout, notamment là où règne le même climat, où des héliographes de qualités comparables sont utilisés. Le caractère de la nébulosité peut varier qu'il s'agisse d'une station de plaine ou de montagne, mais les différences de  $\Delta$  sont parfois trop grandes même entre des stations de la même région climatique pour que cette explication suffise. Deux sources d'erreurs peuvent alors s'être glissées dans les résultats

**Tableau 3**

Valeurs mensuelles de la somme S + N à Genève, Leysin, Montreux-Clarens, Berne, Mt-Soleil et Locarno.

	Genève 1911-1950	Leysin 1931-1950	Montreux- Clarens 1911-1950	Berne 1911-1950	Mt-Soleil 1918-1950	Locarno 1937-1950
Janvier	101	96	94	99	97	103
Février	102	97	96	101	99	107
Mars	103	99	96	102	102	106
Avril	107	100	98	106	103	108
Mai	103	102	98	107	103	108
Juin	109	103	100	110	105	112
Juillet	108	103	100	109	105	112
Août	107	102	99	109	104	109
Septembre	105	101	97	107	103	108
Octobre	103	99	97	105	102	108
Novembre	101	96	95	102	99	105
Décembre	100	93	94	99	96	102
Année	108	100	99	107	103	108
Amplitude	8	10	6	11	9	10



**Fig. 1:** Variation annuelle de la somme de la durée d'insolation relative et de la nébulosité (S + N)

Berne ———— Clarens - - - - - Lugano - · - · - · -  
 Neuchâtel ······· Davos + + + + Sântis ————

de S ou de N. D'une part, un héliographe peut être moins sensible qu'un autre, soit à la suite d'une altération, soit par défaut ou différence de fabrication; d'autre part, l'estimation du degré de nébulosité peut être défectueuse. Les deux éléments peuvent même s'additionner. Dans le Tableau 3 suivent quelques exemples assez frappants.

**Tableau 4**

Valeurs annuelles de la somme S + N pour quelques stations représentatives.

	Davos	Berne	Zurich	Neuchâtel	Lugano	La Chau- de-Fonds
1886	100	—	104	—	106	—
87	100	107	105	—	108	—
88	98	104	106	—	106	—
89	99	103	105*	—	106	—
1890	102	105	107	—	104	—
1891	102	103	102	—	105	—
92	106	106	103	—	106	—
93	109	110	104	—	104	—
94	106	106	102	—	104	—
1895	101	106	104	—	102	—
1896	109	109	103	—	103	—
97	107	111	103	—	101	—
98	107	111	103	—	104	—
99	104	112	103	—	106	—
1900	104	111	103	—	106	—
1901	101	111	103	—	105	—
02	106	110	101	—	99	101
03	105	106	101	—	99	97
04	107	109	103	105	99	99
1905	109	110	104	107	101*	101
1906	108	112	104	108	103	103
07	108	109	103	104	107	99
08	109	111	107	105	106	99
09	106	110	106	106	108	101
1910	105	110	106	108	109	106
1911	107	111	108	108	105*	104
12	105	105	103	108	100	99
13	103	104	100	107	97	99
14	103	105	101	109	100	102
1915	106	108	102	111	97	104
1916	105	109	103	108	96	104
17	105	108	103	111	96	104
18	100	107	102	111	95	104
19	104	110	104	114	97	107
1920	101	102	102	111	96	103*
1921	104	104	104	113	96	101
22	105	107	104	112	95	102
23	108	106	108	112	100	106
24	106	106	(108)	111	101	104
1925	108	107	(110)	112	99	103*
1926	108	104	(108)	111	98	97
27	109	108	114	112	100	100
28	108	104	110	113	97	97
29	107	102	108	111	97	93
1930	106	103	110*	108	100	95
1931	109	103	110	110	102*	96
32	107	103	109	109	101	98
33	108	104	109	106**	105	100
34	107	105	110	105	102	99
1935	107	106	111	103	104	103*
1936	106	107	109	104	101	98
37	104	105	105	103	102	97
38	106	106	108	103	99	98
39	111	105	108	105	102	98
1940	109	110	107	105	103	97
1941	113	107	109	104	107	97
42	111	109	111	105	105	98
43	108	109	109	105	108	97
44	110	110	109	106	108	98
1945	107	110	114	106	106	100
1946	107	108	111	106	104	96
47	110	109	110	106	106	99
48	113	108	110	105	106	98
49	112	107	108	106	103	99
1950	112	109	109	107	106	100

\* changement d'observateur

\*\* changement dans le personnel dépouillant les cartes  
 Entre parenthèses: valeurs corrigées

Aucune station du tableau n'a des résultats pareils à l'autre. Toutefois, deux d'entre elles frappent par leurs résultats très bas, Leysin et Montreux-Clarens. A cette dernière ils sont pour ainsi dire toujours au-dessous de 100 % ce qui ne peut correspondre à la réalité; il doit se trouver une source d'erreur, soit dans l'enregistrement de S, soit dans l'estimation de N, question que nous examinerons encore plus tard.

Si l'on pouvait déjà exiger que  $\Delta$  reste pour le moins très semblable dans toutes les stations d'une même région climatique, on pourrait également s'attendre à trouver des valeurs semblables, en comparant entre elles diverses périodes d'une même station. Mais ici on se trouve aussi en présence d'une quantité de cas où  $\Delta$  varie de période en période. Quelques exemples (voir Tableaux 4 et 5) et les raisons qui provoquent les fluctuations peuvent illustrer ces constatations.

Tableau 5  
Moyennes mensuelles de différentes périodes des stations du tableau 4.

	Davos			Lugano		Berne	
	1886-90	1921-30	1941-50	1921-30	1941-50	1921-30	1941-50
Janvier	95	101	105	91	101	98	101
Février	98	104	108	97	105	98	102
Mars	98	107	111	96	105	100	103
Avril	103	107	109	96	106	102	108
Mai	104	108	112	102	108	106	109
Juin	100	111	114	102	109	109	113
Juillet	105	114	114	102	110	107	109
Août	105	111	113	101	107	106	110
Septembre	103	108	111	100	104	106	107
Octobre	104	106	111	98	105	102	106
Novembre	95	104	108	93	101	100	102
Décembre	93	97	101	92	100	97	100
Année	100	107	110	98	106	105	109
Amplitude	12	17	13	11	10	12	13

	Zurich		Neuchâtel		La Chaux-de-Fonds	
	1911-20	1931-40	1921-30	1941-50	1911-20	1941-50
Janvier	98	101	102	97	97	92
Février	98	104	105	97	99	93
Mars	98	104	109	101	103	94
Avril	102	107	112	105	103	100
Mai	103	109	115	107	104	96
Juin	106	112	113	110	104	100
Juillet	104	111	116	107	104	100
Août	104	109	113	107	102	100
Septembre	100	107	113	103	102	99
Octobre	99	105	105	100	104	97
Novembre	96	103	101	99	100	95
Décembre	97	101	99	96	99	92
Année	103	109	111	106	103	98
Amplitude	10	11	17	14	7	8

Davos. La courbe annuelle des valeurs de  $\Delta$  et de la somme S + N durant les différentes périodes varie sensiblement; la moyenne de 1886-90 est inférieure à celle de 1941-50; 1901-10, 1921-30 et 1931-40 se rapprochent beaucoup de la moyenne de 1886-1950. Si nous comparons les valeurs moyennes de chaque année entre elles on distingue facilement les grands écarts qui peuvent exister d'une année à l'autre, mais constatons aussi l'existence de périodes où des valeurs élevées de  $\Delta$  prédominent et vice-versa. Depuis 1936, par exemple, les valeurs augmentent très fortement jusqu'à atteindre 13, ce qui ne peut s'expliquer que par le changement des observateurs de la nébulosité (1936, 1945, 1947), tandis que l'héliographe a gardé la même sensibilité.

Berne. L'aspect des valeurs au cours des années est un peu plus régulier qu'à Davos, mais la moyenne générale est à peu près la même aux deux stations (+ 6,5 à Davos et + 7,0 à Berne). La dépression un peu prolongée des valeurs de  $\Delta$  autour des années 1928 à 1935 est pourtant frappante! Peut-être y a-t-il eu un changement d'observateur. Les mouvements du personnel de la station ne sont pas indiqués dans les Annales.

Zurich. Ici on distingue clairement deux périodes. La première se situe avant 1923, la seconde depuis 1927, date à laquelle un nouvel héliographe fut mis en service, qui se trouve être plus sensible que le premier (cf. N et S). Pourtant les valeurs de N ont aussi augmenté et même davantage que celles de S. Il semble que des nouvelles instructions d'observation, mises en pratique vers 1923, ont provoqué ce changement, car il n'y a pas eu de changement de personnel à cette époque. D'autre part il est à remarquer que pendant le lustre 1886-90,  $\Delta$  est plus élevé que pendant les décennies qui suivent jusqu'en 1920, ce qui ne peut s'expliquer que par un changement d'observateur ou de la manière de dépouiller les papiers enregistreurs (les Annales ne donnent pas d'indications à ce sujet).

Neuchâtel. La station est aussi entre les mains d'un institut scientifique comme les deux précédentes et on ne peut pas non plus constater les changements de personnel dans les Annales, mais les variations de la courbe annuelle de  $\Delta$  sont tout de même frappantes et permettent des suppositions dans ce sens<sup>4</sup>. Ainsi de 1915 à 1930 les valeurs annuelles de  $\Delta$  sont très élevées (jusqu'à + 14), de même pendant les décennies de 1911 à 1920 et de 1921 à 1930. Elles retombent jusqu'à + 3 en 1937 et 1938. L'héliographe est le même depuis 1902 et sa sensibilité ne semble pas avoir changé. Il est à remarquer que l'amplitude de  $\Delta$  au cours de l'année est généralement très grande (13), plus grande qu'ailleurs dans le Moyen-Pays où sa moyenne est 9.

Lugano est un cas typique; on constate une baisse subite de  $\Delta$  correspondant à l'entrée en fonction d'un nouvel observateur en 1911/1912. Jusqu'en 1930 les valeurs annuelles de S + N restent au-dessous de 100 ( $\Delta$  négatif) et la courbe annuelle de celles-ci pendant les décennies de cette époque restent au-dessous de celles qui suivent cette date. Depuis 1931 nous avons des valeurs plus élevées de  $\Delta$  qui correspondent à l'entrée en fonction d'un nouvel observateur. Le changement d'emplacement de la station en 1905 est également à remarquer.

La Chaux-de-Fonds. Un changement d'observateur en 1925 ramène  $\Delta$  à des valeurs négatives. Un nouveau changement en 1935 n'améliore pas les résultats.

Des cas semblables aux deux derniers ont été reconnus au Mont-Soleil et à Montreux-Clarens.

Il semble, qu'à moins d'un emploi exceptionnelle-

<sup>4</sup> M. le Prof. Guyot nous a signalé qu'un changement de personnel a eu lieu en mars 1933. La personne qui dépouille les cartes d'enregistrement depuis cette année opère différemment que son prédécesseur.

ment mauvais et inexact d'un bon héliographe, de petites variations de  $\Delta$  ne peuvent être imputées à l'enregistrement de la durée d'insolation. Partout où furent constatés des changements dans le fonctionnement d'un héliographe, ceux-ci avaient un caractère différent (Braunwald, Jungfrauoch) et ils ne variaient pas d'une année à l'autre en augmentant (ce qui est impossible à moins d'un changement de l'appareil, d'une partie de celui-ci ou de son emplacement) et diminuant tour à tour sa sensibilité. En général, ce sont des diminutions de la sensibilité qui entrent en ligne de compte, ou bien ce sont la croissance des arbres, ou une bâtisse érigée trop près de l'appareil, qui provoquent une diminution de la durée d'insolation possible et également de S, si on ne constate ou ne tient pas compte de ces faits assez tôt. Strub (31) a fait remarquer en 1910 que le papier enregistreur par son impression et sa qualité pouvait également provoquer de grandes différences d'enregistrement d'une période à l'autre. Il est donc très important d'examiner attentivement le comportement des résultats de l'estimation de la nébulosité et celui des enregistrements de la durée d'insolation si nous voulons avoir à notre disposition un matériel de base homogène.

Les erreurs de N, dues uniquement aux observateurs, peuvent se compenser à la rigueur et ne plus influencer les moyennes de séries assez longues (Lugano, Berne), tandis que celles d'un héliographe restent en général constantes et faussent les résultats même ceux de longues séries (Bâle 1886—1907, Braunwald 1935—50).

Les résultats mensuels de chaque année de la somme S + N accusent donc une assez forte dispersion par rapport à la moyenne de plusieurs années. La moyenne de cette dispersion permet d'évaluer les erreurs probables auxquelles pourront être sujets les résultats du calcul de S à partir des moyennes de  $\Delta$  d'une station. En réunissant un groupe de stations et en formant une moyenne

régionale, on arrive à atténuer les possibilités d'erreur et cela d'autant plus que l'on réunit davantage de stations (voir Tableau 6). Vu l'importance de la dispersion des valeurs mensuelles, il faudra s'attendre à une dispersion plus grande encore des valeurs journalières; ainsi, si l'on voulait, à l'aide de la même méthode, calculer la durée d'insolation moyenne pour chaque jour, les possibilités d'erreur augmenteraient beaucoup. La dispersion des valeurs annuelles est, comme on pouvait s'y attendre, plus petite que pour les valeurs de chaque mois de sorte que le calcul des moyennes de chaque année aurait les plus petites possibilités d'erreur. Ce dernier pourtant n'est pas suffisamment intéressant pour être considéré à lui seul, tandis que la variation annuelle de la durée d'insolation sur la base des données moyennes de chaque mois est plus apte à fournir des indications précieuses sur le climat radiatif d'un lieu.

*Tableau 6*

Dispersion de quelques valeurs mensuelles et annuelles de la somme S + N par rapport à la moyenne de 1921—1950.

Berne	Mars	Juin	Septembre	Décembre	Année
Moyenne	101	109	106	98	106
Dispersion moy.	3,2	3,2	2,9	2,7	2,0
Maximum	109(+8)	121(+12)	113(+7)	104(+6)	110(+4)
Minimum	93(-8)	103(-6)	98(-8)	86(-12)	102(-4)
<i>Davos</i>					
Moyenne	109	112	109	99	108
Dispersion moy.	3,2	3,7	2,8	3,9	1,9
Maximum	114(+5)	119(+7)	117(+8)	112(+13)	113(+5)
Minimum	102(-7)	102(-10)	102(-7)	91(-8)	104(-4)
<i>Lugano</i>					
Moyenne	100	105	102	96	102
Dispersion moy.	4,4	3,5	2,8	4,4	2,9
Maximum	114(+14)	113(+8)	111(+9)	105(+9)	108(+6)
Minimum	87(-13)	98(-7)	97(-5)	87(-9)	95(-7)
<i>Moyen-Pays</i>					
Moy. de 6 stat.	103	110	106	100	107
Dispersion moy.	1,6	2,0	2,5	1,4	0,8
Maximum	107(+4)	116(+6)	113(+7)	105(+5)	110(+3)
Minimum	100(-3)	105(-5)	100(-6)	97(-3)	105(-2)

## B. L'enregistrement de la durée d'insolation en Suisse

Dans le chapitre précédent on a déjà anticipé, en considérant de quelle façon la durée d'insolation est enregistrée par l'héliographe à boule de Campbell-Stokes, en usage en Suisse, pour expliquer la courbe annuelle de  $\Delta$ . On examinera maintenant de plus près l'instrument lui-même, ses défauts les plus caractéristiques et les moyens d'y remédier.

L'héliographe de Campbell-Stokes consiste en une boule de verre massive, transparente et (à l'origine) incolore, de 9—10 cm de diamètre suivant les modèles, exposée à l'air libre. Elle agit de tous les côtés comme une lentille. Dans son foyer l'image du soleil se déplace sur une bande de carton bleu, en y laissant une trace brûlée ou brunie. Ce papier enregistreur, sur lequel sont imprimées les heures du temps solaire vrai, est fixé sur un support spécialement conçu et placé à cet effet à la distance focale nécessaire de la boule. On change le papier chaque soir. L'appareil est très simple à manier et convient très bien aux stations les plus diverses et n'employant pas de personnel spécialisé, d'où son emploi très répandu dans le monde. Malgré sa construction aisée et pratique, cet instrument possède certains défauts de prin-

cipe qui ont été spécialement examinés par Maurer (20, 21, 22), Strub (31), Wagner (34), Kleinschmidt (14 et 15). Ces auteurs sont d'accord d'attribuer la principale source d'erreur à la non-concordance très facilement possible de la répartition des heures sur le papier enregistreur et du rayon de la trace calcinée inscrite par le soleil. Le papier doit se trouver exactement à la distance focale du centre de la boule sinon on enregistrera trop ou trop peu d'insolation par rapport au partage du papier. Il se trouve qu'en Suisse, on emploie pour tous les appareils de même modèle, mais d'âge différent, des papiers identiques ce qui explique que pour beaucoup d'héliographes ladite concordance fasse parfois défaut. Si par exemple on compare, pour Davos, l'insolation possible mesurée à l'aide de l'héliochronomètre avec celle calculée, comme il est de règle en Suisse si l'on veut obtenir des valeurs de S climatologiquement comparables entre elles, à partir des enregistrements de l'héliographe par jours sans nuages, on obtient les différences du tableau 7. Celles-ci ne peuvent pas être provoquées par une hauteur trop basse du soleil au-dessus de l'horizon pour que le papier brunisse; à Davos, l'intensité

Tableau 7

La durée d'insolation possible à Davos

- a) mesurée à l'aide de l'héliochronomètre,  
 b) selon les enregistrements de l'héliographe,  
 c) différence entre a) et b):

	a) en heures	b) en heures	c) en heures et %	
Janvier	173	187	14	8
Février	189	203	14	7
Mars	278	292	14	5
Avril	322	335	13	4
Mai	368	377	9	2
Juin	369	374	5	1
Juillet	376	382	6	2
Août	351	361	10	3
Septembre	296	307	11	1
Octobre	235	249	14	6
Novembre	180	194	14	8
Décembre	163	175	12	7
Année	3300	3436	136	4

du rayonnement solaire est suffisante dès le lever et jusqu'au coucher du soleil, car l'horizon visible de la vallée est passablement élevé.

Chaque fois que la différence entre les deux valeurs change notablement, c'est au moment où l'on utilise un autre modèle du papier enregistreur, car, sous nos latitudes, on emploie, suivant les saisons, des papiers différents quant à leur forme: En été, ils sont assez longs et sont placés au bas du support parce que le soleil atteint alors sa hauteur maxima; en hiver c'est une bande courte fixée au haut du support, tandis qu'en automne et au printemps, c'est-à-dire du 1<sup>er</sup> mars au 13 avril et du 1<sup>er</sup> septembre au 13 octobre, le papier est placé dans le plan de l'équateur.

Cet exemple nous montre à quel point les valeurs de la durée d'insolation effective peuvent être faussées, car un autre héliographe aura peut-être une différence contraire à celle de l'appareil de Davos, si bien qu'en comparant les résultats de deux stations publiés dans les Annales, on risque sans le savoir, de travailler avec des erreurs mensuelles appréciables allant jusqu'à quelques pour-cents. Il est donc très important de n'employer pour le calcul de S que les valeurs de l'insolation possible établies d'après les enregistrements des héliographes respectifs lors des jours sans nuages et de ne jamais se fonder uniquement sur une mesure de l'horizon ou des trajectoires solaires, qui, certes, sont plus exactes, mais ne comprennent pas l'erreur initiale possible d'un héliographe; car, pour calculer des valeurs exactes de ladite insolation relative (S), il est absolument nécessaire de se baser sur des données (numérateurs et dénominateurs) qui comprennent les mêmes erreurs.

Durant les premières décennies pendant lesquels l'héliographe de Campbell-Stokes fut utilisé, les résultats obtenus dans les différentes stations étaient très inégaux. Maurer (21), dans une étude spéciale, fait mention du mauvais état des choses à Genève, Lausanne, Bâle, et peut-être à Hallau, stations où un certain modèle d'héliographe (premier modèle «Usteri») défectueux était en service. Strub (31), en particulier, traite la question en détail pour Bâle où il s'avéra que non seulement la construction de l'appareil mais aussi la qualité des cartes d'enregistrement laissaient à désirer. Depuis que Bâle (1908), Genève et Lausanne (1909) ont mis en service des héliographes d'un autre type (Negretti & Zambra),

leurs enregistrements sont de nouveau plus homogènes et mieux comparables à ceux des autres stations (excepté à Lausanne de 1925 à 1930, où furent en usage des papiers défectueux (division horaire trop étroite), une erreur qui peut être facilement réduite). Mais jusque là, il n'était pas possible d'employer les données fournies par les vieux appareils et il n'est pas possible d'en corriger les résultats de façon convaincante.

Un autre défaut peut être la diminution, parfois rapide, de la sensibilité de l'héliographe. On remarquera que bien souvent d'anciennes houles de verre de divers appareils se teignent plus ou moins légèrement en vert, jaune ou brunâtre. Ceci n'est pas nécessairement l'origine d'une diminution de la sensibilité de l'héliographe par rapport à la lumière du soleil. Il existe des appareils qui malgré une teinte brunâtre prononcée, n'ont pas changé leur sensibilité. Malgré tout, sans qu'on sache la cause, certains appareils ont commencé à fournir des résultats relatifs nettement inférieurs aux précédents, ce qui a motivé leur éloignement et leur remplacement. Ce fut le cas à Zurich, où, de 1924 à 1927, la diminution de la sensibilité de l'appareil comportant quelques pour-cents et s'accroissant chaque année, ne nous permet pas de tenir compte des résultats de cette période, à moins d'une réduction. Au Beatenberg, l'appareil n'eut semble-t-il jamais une sensibilité suffisante, ce qui explique les résultats extrêmement bas de cette station; ces appareils ont évidemment été mis hors de service et remplacés.

Dans ses grandes lignes, l'homogénéité des diverses stations entre elles a été contrôlée pour cette étude et, outre les exemples sus-mentionnés, des divergences notoires n'ont été trouvées qu'à Bâle, depuis 1929, et à la station du Säntis à certaines époques. A Bâle, à ladite date, un nouvel appareil mis en service s'est révélé être moins sensible. Sur le Säntis ce sont probablement les dépouillements des divers observateurs (notamment de 1923 à 1930) d'une part et une baisse de la sensibilité de l'héliographe entre 1941 et 1947 environ, d'autre part, qui sont à l'origine des écarts observés. En 1947 l'ancienne sphère de verre fut remplacée et en 1950 un nouvel appareil (Negretti & Zambra) apparemment encore bien plus sensible a été pris en service, ce qui a évidemment changé l'aspect des valeurs au cours des dernières années.

Après toutes ces constatations, il n'est que trop justifié de se demander comment il serait possible de corriger en partie les défauts sus-mentionnés, afin d'avoir à disposition des données homogènes de tous les appareils. Les diminutions de sensibilité ne peuvent être réellement corrigées, le mieux serait de s'en apercevoir rapidement et de changer l'appareil défectueux. Quant à la non-concordance de la répartition des heures sur le papier enregistreur, le mieux serait, comme le mentionne J. C. Thams (33), d'étalonner les divers héliographes; de cette façon l'erreur serait connue après un simple contrôle horaire de chaque modèle de cartes d'enregistrement<sup>5</sup>, et on pourrait en tenir compte lors du dépouillement. Mais il serait malgré tout très désirable

<sup>5</sup> A Davos on n'a pas pu constater de différence notable entre les diverses cartes d'enregistrement utilisées depuis 1931 (modèle Negretti-Zambra).

que les cartes et leur division horaire ne changent pas trop au cours des années, ou ce qui serait encore préférable, s'améliorent une fois pour toute, car il est difficile de travailler avec un matériel parfois peu digne de confiance.

Théoriquement on pourrait prétendre qu'un simple calcul permettrait d'écarter cette source d'erreur. Comme il a été dit plus haut, il suffirait de corriger la durée d'insolation relative, établie à partir de la durée possible d'après les enregistrements de l'héliographe lors des jours sans nuages, en tenant compte de la durée possible calculée d'après les mesures faites avec l'héliochronomètre. Ceci n'est possible que dans les cas où les résultats d'enregistrement sont trop élevés. On est alors en droit de réduire ces données, car elles sont sûrement fausses, les mesures du théodolite étant probantes (Davos, Lugano par exemple).

Le cas est moins sûr lorsqu'il s'agit de résultats plus petits que les mesures du théodolite. Ici, comme nous le verrons encore plus loin, une correction faite comme la précédente, risque parfois de fausser les résultats, l'insolation relative ayant une marche diurne particulière dont il faut absolument tenir compte et qui ne reste pas la même au cours de la journée (effet de coulisse des nuages proches de l'horizon, augmentation de la nébulosité le soir et le matin par rapport au milieu de la journée, moins grande sensibilité de l'héliographe lorsque le soleil est très bas). Une rectification partielle est permise, semble-t-il, lorsqu'il s'agit de rétablir l'équilibre entre les enregistrements des trois sortes de cartes d'enregistrement donnant des résultats différents, dus uniquement au partage défectueux d'un des papiers par rapport aux deux autres (Santis, Berne), mais sans ramener toutes les valeurs à la durée d'insolation possible établie au théodolite. De cette façon l'homogénéité complète ne pourra pas toujours être atteinte, mais les erreurs les plus grossières seront tout de même atténuées.

### C. Les résultats de l'observation du degré de nébulosité en Suisse

Les enregistrements de l'héliographe restent les données les plus exactes que nous ayons pour juger la durée d'insolation d'un lieu. Mais cet appareil n'est en usage que dans le tiers environ des stations suisses; toutes les autres ne peuvent donner de renseignement au sujet de leur climat solaire qu'au moyen des résultats de l'observation de la nébulosité. Le climat solaire d'un lieu a été reconnu comme étant particulièrement important et intéressant; il y aura donc avantage à connaître la qualité des observations de N, car seules de bonnes estimations de N pourront être prises en considération, notamment si nous les utilisons pour calculer aussi exactement que possible la durée d'insolation effective moyenne d'un lieu. C'est pourquoi, après avoir discuté quelques généralités concernant l'observation de la nébulosité, nous comparerons les résultats de plusieurs stations entre elles.

Tandis qu'un héliographe enregistre la durée d'insolation toute la journée durant, la nébulosité, elle, n'est estimée que trois fois en 24 heures en dixièmes de la surface visible du ciel. Si l'on se rappelle que malgré

Il y a encore une source d'erreur qui peut prendre une grande importance et à laquelle V. Conrad (6) a déjà souvent fait mention. Il s'agit du givrage et parfois de l'enneigement des sphères de verre des héliographes. On peut être certain qu'en hiver, en montagne surtout, la marche journalière de la durée d'insolation peut s'en ressentir. C'est peut-être l'origine des sommes souvent très basses de S + N à cette saison et à certaines stations. Par front froid par exemple, la neige tombe souvent de façon intermittente et le soleil brille entre deux; dans ces cas il faudrait souvent nettoyer l'appareil. Si le matin on découvre l'héliographe trop tôt, c'est-à-dire avant le lever du soleil, on peut être presque certain que la boule se givrera ou pour le moins se couvrira de buée, ce qui, à la rigueur, interrompra l'enregistrement de la durée d'insolation pour un certain temps pouvant aller d'une demie-heure à plus d'une heure. Le seul remède à ce défaut est une attention particulière des observateurs, ou l'installation d'un dispositif chauffant, dans le socle de l'appareil par exemple, comme le propose V. Conrad (6). En considérant les valeurs de S par région climatique, comme cela est fait dans ce travail, l'erreur due au givrage et à l'enneigement a des chances d'être «homogène» un peu partout (Davos, Arosa entre autres exceptés) et de n'avoir qu'une importance absolue, dans ce sens qu'elle sera comprise aussi bien dans les résultats obtenus par la méthode que dans ceux qui ont été enregistrés et publiés.

On ne doit pas oublier non plus qu'en altitude l'air est plus pur (en hiver surtout), ce qui permet à l'héliographe d'enregistrer en montagne une insolation encore moins intense qu'en plaine lorsque la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon est identique aux deux endroits. Ce fait pourrait expliquer parfois les valeurs basses de S + N à certains mois d'hiver dans des stations de plaine (Neuchâtel).

cette différence essentielle entre l'enregistrement de la durée d'insolation et l'estimation de la nébulosité, qui souvent a lieu quand le soleil n'est même pas visible, on saura apprécier la réciprocité étonnante qui existe entre S et N et qui fut déjà remarquée très tôt.

De plus, on ne peut nier que lors des observations nocturnes, des nuages du niveau élevé ne sauraient toujours être reconnus ou estimés proprement, notamment quand la lune ne brille pas. L'observation qui a lieu chez nous à 21.30 se fait souvent dans de telles conditions et parfois c'est aussi le cas certains matins à 7.30 pendant les mois de décembre et de janvier, surtout lorsque le sol n'est pas recouvert de neige. Il est évident que beaucoup dépend du soin avec lequel les observations sont faites (Hann [12]); cependant, les possibilités d'erreurs sont grandes.

Les prescriptions d'après lesquelles s'effectuent les estimations de la nébulosité correspondent à celles qui ont été adoptées en 1873 lors du premier congrès météorologique international à Vienne. Celles-ci sont différentes des directives précédentes en ce que la densité

des nuages ne doit plus être prise en considération, c'est-à-dire qu'un ciel uniformément recouvert d'un cirrostratus transparent et homogène sera jugé de la même manière que s'il était recouvert de nuages denses et opaques.

Autrefois il était courant de parler d'un degré de nébulosité de  $\frac{3}{10}$  par exemple quand un cirrostratus homogène mais transparent recouvrait neuf à dix dixièmes du ciel. Il a fallu un certain nombre d'années jusqu'à ce que tous les observateurs se soient conformés aux nouvelles prescriptions. C'est pourquoi dans différentes stations et après un certain temps, se produisirent souvent des «changements climatiques» brusques dus uniquement au changement de la méthode d'estimation de la nébulosité (Conrad [4], Maurer [19]). Aujourd'hui encore nous sommes étonnés de voir que beaucoup d'observateurs négligent les nuages du niveau élevé dans leurs estimations et on est en droit de prétendre que cette négligence est bien souvent à l'origine des écarts inattendus constatés dans les résultats de N entre des stations voisines. Une trop haute estimation est certes aussi répandue, car souvent l'observateur donne trop d'accent aux nuages proches de l'horizon, notamment dans les stations des vallées des Alpes. L'effet de coulisse de ces nuages contribue aussi à cette erreur.

Il sera toujours difficile de prouver la justesse de l'estimation du degré de nébulosité à moins d'avoir un héliographe à sa disposition et de la contrôler au moyen de la somme  $S + N = 100 + \Delta$ . D'autre part, il est possible, aux stations voisines d'un héliographe et situées dans la même région climatique, de comparer leurs résultats aux enregistrements de celui-ci si la configuration des horizons respectifs est semblable. Ces comparaisons sont très utiles, elles permettent de découvrir de nombreuses erreurs, et plusieurs stations ont déjà été nommées où un nouvel observateur estimant différemment de son prédécesseur avait provoqué un changement notable des valeurs de N. De cette façon il est possible de juger la qualité de ces résultats.

On a souvent prétendu (Conrad [4]) qu'en Suisse, dans quelques stations principales, les valeurs du degré de nébulosité étaient restées les mêmes qu'autrefois, parce que les prescriptions du congrès de 1873 n'y avaient pas trouvé d'écho. D'après les résultats de diverses stations, il nous semble qu'elles ont toujours été inégales. Différents observateurs des principales stations ont toujours produit des valeurs relativement élevées par rapport à l'étranger, et cela se constate depuis qu'on enregistre la durée d'insolation, c'est-à-dire depuis 1885 environ (voir Tableau 8).

Tableau 8

Degré annuel moyen de la nébulosité et de la somme  $S + N$  à diverses stations entre 1886 et 1915, en %.

	1886—90		1891—1900		1901—10		1911—15	
	N	S+N	N	S+N	N	S+N	N	S+N
Vienne	59	100	59	101	63	104	70	109
Berne	64*	105*	65	108	67	110	67	106
Zurich	65	105	61	103	64	104	64	104
Bâle	62	106**	62	107**	67	110**	64	107
Davos	48	100	53	106	55	106	56	104
Lugano	50	104	46	104.	46	103	46	100

\* 1887—90.

\*\* Valeurs réduites.

Le tableau précédent prouve bien ce que nous avons dit plus haut et il semble que l'estimation de la nébulosité n'est pas du tout restée au-dessous de celle des stations étrangères; bien plus, il semble qu'elle ait été plus élevée qu'à l'étranger, à Vienne en particulier.

Le cas de Bâle, spécialement cité, où, à partir de 1896 un grand écart se fait sentir et qui serait dû aux nouvelles méthodes de 1873 appliquées à ce moment, ne prouve en somme pas grand-chose. Nous ne pouvons pas nous baser sur la somme  $S + N$ , car à ce moment l'héliographe de Bâle était défectueux. En revanche, il existait alors une très bonne station assez proche de cette ville, dans le village de Buus dans le canton de Bâle-Campagne et qui possédait un bon héliographe. La somme de  $S + N$  à Buus était semblable à ce que nous trouvons dans le Moyen-Pays aujourd'hui, et puisque l'observateur resta le même de 1893 à 1912, nous pouvons sans autre comparer les valeurs de N à Bâle et Buus et constater de brusques changements de part et d'autre (voir Tableau 9).

Tableau 9

Valeurs annuelles de N à Buus et à Bâle de 1892 à 1912.

Bâle:	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902
	60	52	60	56	70	68	66	61	68	68	72
	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	
	67	68	68	63	67	63	63	68	59	64	
Buus:	1892	1893	1894	1895	1896	1897	1898	1899	1900	1901	1902
	61	53	60	55	68	64	61	54	63	61	63
	1903	1904	1905	1906	1907	1908	1909	1910	1911	1912	
	60	61	66	60	61	62	62	68	58	63	

Nous voyons que l'écart principal commence en 1896 et qu'en 1910 les résultats sont de nouveau les mêmes aux deux stations. L'explication en est qu'en 1896 et 1910 eurent lieu des changements d'observateurs à Bâle. Vu d'autre part la proximité des stations qui, de par leur situation géographique (Buus est dans l'arrière-pays et non dans la vallée du Rhin), laisserait attendre quelques différences saisonnières mais pas des valeurs annuelles de N, on peut prétendre qu'avant 1896 déjà, on obtenait à Bâle des valeurs plus élevées de N qu'à Vienne par exemple.

a) *Les résultats de l'estimation du degré de nébulosité dans le Moyen-Pays et le pied nord du Jura*

Dans le Moyen-Pays on dispose du plus grand nombre de stations observant la nébulosité et enregistrant la durée d'insolation, de telle sorte qu'il est facile d'examiner la qualité des résultats de l'estimation de N dans les stations privées d'héliographes. Leur homogénéité est d'autant mieux contrôlée si on forme de petits groupes régionaux qui permettent de s'apercevoir si l'application de la méthode pour déterminer la durée moyenne d'insolation d'un lieu a quelques chances de succès. Dans les autres régions climatiques qui ne disposent pas d'un si grand nombre d'héliographes, on se bornera à l'examen de quelques stations types.

En tout, nous considérons 24 stations du Moyen-Pays, dont neuf sont pourvues d'un héliographe, et qui se

répartissent sur toute l'étendue de la région. La période de 30 années, allant de 1921 à 1950, a été choisie autant que possible comme période de base pour tous les calculs ultérieurs. Elle permettra de considérer un nombre suffisant de stations ayant des séries homogènes et fut en outre recommandée par la Commission de Climatologie de l'Organisation Météorologique mondiale en 1953.

**Premier groupe: NE du Moyen-Pays (Tableau 10)**

Tableau 10

Moyennes mensuelles de la nébulosité dans le NE du Moyen-Pays, 1921—1950, en %; entre parenthèses les valeurs de S.

	Zurich	Winterthur	Frauenfeld	Schaffhouse	Hallau	Rorschach	St-Gall
Janvier	82 (19)	83	85	80	79 (18)	83	77
Février	71 (32)	71	74	68	69 (29)	73	68
Mars	62 (42)	61	62	55	57 (41)	60	61
Avril	65 (42)	64	65	58	61 (41)	64	64
Mai	64 (46)	61	63	54	59 (45)	60	63
Juin	60 (52)	58	59	50	54 (50)	59	60
Juillet	56 (55)	56	56	46	50 (53)	55	55
Août	56 (53)	56	58	47	51 (52)	55	55
Septembre	60 (47)	59	61	52	55 (46)	57	57
Octobre	70 (34)	71	73	66	67 (32)	72	66
Novembre	82 (21)	83	84	79	80 (18)	82	76
Décembre	87 (14)	86	88	85	84 (14)	85	80
Année	68 (40)	68	69	62	64 (39)	67	65

Zurich, Winterthur, Frauenfeld et Rorschach ont des courbes semblables qui ne cadrent pas du tout avec celles de Schaffhouse et Baden ainsi que de St-Gall en hiver. Une explication n'est possible que pour St-Gall, qui située à 679 m, c'est-à-dire à plus de 200 m au-dessus de Rorschach, se trouve souvent au-dessus des stratus qui recouvrent si fréquemment le Moyen-Pays en hiver. En été en revanche, les valeurs sont pratiquement les mêmes que dans les stations inférieures. A Schaffhouse par contre, l'explication ne peut être fournie qu'en supposant l'estimation de la nébulosité trop basse. Deux raisons semblent confirmer cela; d'une part Hallau, la station héliographique la plus proche de Schaffhouse, enregistre une durée d'insolation presque égale à celle de Zurich, mais sa somme S + N est inférieure. L'estimation de la nébulosité y est donc plus basse qu'à Zurich et malgré cela elle dépasse encore celle de Schaffhouse. D'autre part, le nouvel observateur à Schaffhouse, en service depuis 1944, obtient des résultats plus élevés que Hallau et plus analogues à ceux des autres stations voisines (Frauenfeld, Rorschach, Zurich, Winterthur). De cette façon, puisque aucune particularité dans la situation géographique de Schaffhouse ne laisse croire qu'il y existe un climat différent de celui de son voisinage, on peut admettre que depuis 1944 seulement les résultats de N sont comparables au reste du pays.

Il est assez instructif de remarquer que les écarts que nous venons de citer ne sont pas aussi grands en hiver, saison pendant laquelle les stratus et même le brouillard dominant et recouvrent souvent tout le ciel; ceci facilite beaucoup les estimations, les cirrus n'étant pas visibles, et rend de cette façon plus homogènes les résultats des différentes stations d'une même région.

**Second groupe: Le centre-nord du Moyen-Pays (Tableau 11)**

Les stations de Soleure, Böttstein-Beznau et Muri semblent homogènes et ne diffèrent pas sensiblement de Berne (voir Tableau 12), de Zurich (voir Tableau 10). En revanche, les valeurs d'Aarau et d'Olten ne correspondent pas à celles des autres stations, entre lesquelles ces localités sont situées et encore moins entre elles. La première a des valeurs trop basses, la seconde si élevées

Tableau 11

Moyennes mensuelles de la nébulosité dans le centre nord du Moyen-Pays, 1921—1950, en %; entre parenthèses 1946—1950.

	Muri	Baden	Böttstein-Beznau	Aarau	Olten	Soleure
Janvier	80	80 (78)	82 (79)	78 (79)	86	81 (79)
Février	73	68 (71)	73 (74)	65 (71)	74	67 (68)
Mars	60	57 (55)	61 (55)	55 (54)	64	58 (54)
Avril	64	61 (53)	63 (51)	57 (52)	69	62 (54)
Mai	61	60 (62)	61 (60)	56 (61)	66	61 (66)
Juin	58	53 (50)	56 (49)	51 (50)	67	56 (53)
Juillet	54	51 (48)	53 (46)	48 (47)	59	54 (49)
Août	55	53 (51)	55 (50)	50 (50)	61	53 (48)
Septembre	59	59 (52)	59 (50)	55 (54)	66	58 (54)
Octobre	68	71 (66)	72 (66)	67 (65)	76	69 (64)
Novembre	81	81 (84)	85 (82)	80 (82)	87	82 (82)
Décembre	86	85 (89)	87 (88)	82 (89)	90	85 (89)
Année	67	65 (63)	67 (63)	62 (63)	72	65 (63)

que la différence entre les deux stations, à environ 12 km de distance l'une de l'autre et dans une situation analogue, est de 8 % en hiver et de 20 % en été, ce qui ne correspond en aucun cas à la réalité. Tandis que le nouvel observateur, à Aarau, obtient dès 1944 des résultats semblables à ceux de Beznau et même de Soleure, on peut admettre qu'avant cette date les estimations étaient trop basses surtout en été. A Olten il n'y a pas eu de changement dans ce sens, mais nous devons admettre que les valeurs de N y sont semblables à celles de Soleure et d'Aarau d'après ses récents résultats. Baden montre des écarts surtout au printemps et en été. Ceux-ci sont dus aux résultats inégaux obtenus par les nombreux observateurs qui se succédèrent jusqu'en 1928. A partir de là et surtout depuis 1935 (nouvel observateur) la station a des moyennes très semblables à celles de Beznau et de Muri.

**Troisième groupe: Centre et ouest du Moyen-Pays**

Tableau 12

Moyennes mensuelles de la nébulosité dans le centre et l'ouest du Moyen-Pays, 1921—1950, en %; entre parenthèses 1931—1945.

	Neuchâtel	Berne	Fribourg	Langnau i. E.	Lucerne
Janvier	82	76 (78)	77 (77)	72	82
Février	70	66 (67)	69 (69)	68	71
Mars	61	59 (59)	63 (61)	64	62
Avril	63	63 (62)	67 (64)	70	64
Mai	61	62 (61)	66 (63)	70	66
Juin	55	57 (58)	61 (59)	64	62
Juillet	52	52 (55)	55 (55)	60	57
Août	52	52 (53)	54 (53)	58	59
Septembre	57	56 (59)	58 (60)	61	61
Octobre	70	66 (69)	67 (68)	66	71
Novembre	82	78 (79)	78 (78)	75	81
Décembre	85	81 (81)	81 (79)	76	86
Année	66	64 (65)	66 (66)	67	68

A Berne et à Neuchâtel, dont nous connaissons également la durée d'insolation et dont l'estimation de la nébulosité n'est pas trop basse, au printemps et en été du moins, les résultats de N sont très différents, pendant ces saisons, de ceux de Fribourg et de Langnau dans l'Emmental; mais nous ne pouvons admettre une différence si sensible notamment entre Fribourg et Berne. Les résultats de N ne sont d'ailleurs pas uniformes à Fribourg au cours de la période de 1921 à 1950; de 1921 à 1926 ils sont nettement trop élevés par rapport à Berne notamment, tandis qu'après le changement d'observateur en 1927, ils sont pratiquement pareils aux deux stations; dès 1946, sans qu'il y ait eu de changement d'observateur, les résultats sont de nouveau très élevés à Fribourg, même par rapport à ceux de Berne, où, d'après  $\Delta$  (voir Tableau 4), ils sont déjà bien élevés. A Langnau les résultats se sont abaissés depuis 1940, date à laquelle un nouvel observateur est entré en fonction. Auparavant, c'est-à-dire depuis 1923, les estimations étaient sûrement trop élevées, ce qui se reflète encore dans les moyennes du tableau 12. Evidemment la situation géographique de cette localité à 685 m d'altitude au pied du Napf et près des premières chaînes des Préalpes laisse supposer davantage de nébulosité que dans le Moyen-Pays proprement dit, excepté en hiver. Le village est en outre assez encaissé ce qui peut également influencer les estimations de la nébulosité. Au point de vue climatologique, Langnau n'appartient plus au Moyen-Pays.

*Quatrième groupe: Sud-ouest du Moyen-Pays (Tableau 13)*

**Tableau 13**  
Moyennes mensuelles de la nébulosité dans le SW du Moyen-Pays, 1921—1950, en %; entre parenthèses les valeurs de S.

	Romont	Montreux-Clarens	Lausanne	Genève
Janvier	68	63 (30)	70 (28)	76 (25)
Février	60	55 (41)	58 (42)	63 (39)
Mars	54	50 (46)	50 (47)	55 (48)
Avril	58	54 (45)	53 (48)	55 (52)
Mai	56	53 (47)	52 (51)	54 (54)
Juin	52	47 (54)	46 (58)	46 (63)
Juillet	47	42 (59)	42 (62)	41 (67)
Août	47	43 (57)	43 (60)	42 (65)
Septembre	50	46 (53)	46 (54)	48 (57)
Octobre	59	54 (44)	56 (42)	61 (43)
Novembre	69	64 (31)	70 (29)	76 (26)
Décembre	72	67 (28)	72 (25)	81 (20)
Année	58	53 (46)	55 (48)	57,5 (50)

Ce groupe est disparate: de Lausanne et de Montreux surtout nous savons par les enregistrements de leurs héliographes, que l'estimation de la nébulosité y est trop basse, notamment à Montreux, tandis qu'à Genève N se révèle homogène et comparable au reste du Moyen-Pays. A Romont, les valeurs sont probablement trop basses en été, notamment quand on les compare à celles de Fribourg et de Berne, attendu que cette station ne jouit sûrement pas d'un climat plus privilégié; en hiver, par contre, la fréquence moins grande de brouillard, due à l'altitude de la station peut expliquer ces valeurs plus basses de N. Il est heureux qu'il nous soit possible de pouvoir contrôler les résultats de N de cette région au

moyen des enregistrements de trois héliographes. Ceci nous montre encore une fois que par des observations de la nébulosité seule, il n'est pas toujours possible de définir le climat solaire d'un lieu. Dans le cas de ce groupe, on serait tenté de croire à un climat particulièrement privilégié des bords du Léman et d'une partie du Moyen-Pays (Romont), par rapport au reste de cette région. Certes, les bords du Léman sont ensoleillés mais pas autant que l'examen des moyennes des observations de la nébulosité le laisserait supposer.

En admettant que ni à Lausanne, ni à Montreux on n'ait enregistré la durée d'insolation, les résultats de la nébulosité auraient paru d'autant plus probants que la similitude des valeurs de N pour ces deux stations et même pour Genève semblait être, excepté en hiver, vraiment remarquable. Si l'on analyse les résultats de la nébulosité à Montreux, on constate qu'après 1945, avec le nouvel observateur, les valeurs de N ainsi que de  $\Delta$  dans la somme S + N augmentent jusqu'à devenir parfaitement comparables à celles de Genève, Berne et Neuchâtel (Tableau 14).

**Tableau 14**  
Moyennes mensuelles de la somme S + N à Montreux-Clarens et dans le Moyen-Pays.

	Montreux-Clarens 1946—1950	Moyen Pays (moyenne de 6 stations) 1921—1950
Janvier	101	100
Février	102	102
Mars	103	103
Avril	107	107
Mai	109	108
Juin	111	110
Juillet	109	109
Août	110	109
Septembre	108	106
Octobre	108	104
Novembre	104	102
Décembre	101	100
Année	109	107,5
Amplitude	10	10

*Cinquième groupe: Pied nord du Jura (Tableau 15)*

**Tableau 15**  
Moyennes mensuelles de la nébulosité à Bâle et à Rheinfelden, 1921—1950, en %; entre parenthèses valeurs de 1946—1950.

	Bâle	Rheinfelden
Janvier	75 (71)	75 (71)
Février	69 (69)	69 (72)
Mars	63 (57)	58 (54)
Avril	66 (56)	62 (55)
Mai	65 (66)	60 (63)
Juin	59 (53)	54 (52)
Juillet	55 (48)	51 (50)
Août	55 (51)	52 (51)
Septembre	59 (50)	56 (51)
Octobre	70 (58)	66 (55)
Novembre	78 (77)	76 (76)
Décembre	80 (80)	80 (82)
Année	66 (61)	63 (61)

Ce groupe comprend trois stations: Bâle, Rheinfelden et Hallau dont deux, la première et la dernière disposent d'un héliographe. Bâle et Rheinfelden sont facilement comparables étant très proches l'une de l'autre, tandis que Hallau, par son climat, serait plutôt à rapprocher du premier groupe que nous avons constitué (bien plus de brouillard et de nébulosité en hiver qu'à Bâle par exemple).

A Bâle les résultats de la nébulosité sont bons par rapport à l'insolation relative. En revanche, à Rheinfelden les valeurs de N sont, excepté en hiver, plus basses qu'à Bâle, en particulier de 1921 à 1943. Depuis 1944 (nouvel observateur) elles ont augmenté et sont très proches sinon égales à celles de la station voisine, où, en revanche, elles semblent avoir un peu baissé d'après  $\Delta$  par rapport à 1921—43. La similitude des deux stations telle que la reflète les résultats de 1946—50, est justifiée par la proximité des deux localités et leur situation géographique analogue.

En résumé, des 24 stations examinées, 15, soit à peu près les deux tiers, ont des moyennes homogènes pour N. Les neuf autres, dont trois possèdent des héliographes, ont des résultats trop élevés ou trop bas pour être compris dans la limite de tolérance des moyennes de leur voisinage immédiat. Mais l'analyse des résultats de la plupart d'entre elles permet de distinguer de plus courtes périodes, pendant lesquelles à la suite d'un changement d'observateur, les estimations de N ont donné des moyennes comparables et homogènes à celles de leur voisinage (Schaffhouse, Baden, Aarau, Langnau/E., Montreux, Rheinfelden). Ce résultat prouve combien il est nécessaire de considérer d'assez près les moyennes de la nébulosité, dont l'estimation est si souvent sujette à des variations d'origine subjective. En revanche, elles sont d'habitude suffisamment bonnes pour permettre l'application de la méthode à proposer, même s'il est nécessaire parfois de réduire certains résultats de N à certaines stations.

b) Résultats de l'estimation de la nébulosité dans quelques régions de la Suisse

1. *Jura occidental.* Outre que dans le Jura les stations sont clairsemées, leurs résultats de N sont fort peu semblables à ceux du Moyen-Pays. Évidemment le climat y est aussi différent. Si nous comparons les moyennes de la durée d'insolation relative de Neuchâtel et de La Chaux-de-Fonds, nous constatons un déficit à cette dernière station allant de mars à septembre; d'octobre à février en revanche, c'est la montagne qui est favorisée. Son altitude la place très souvent au-dessus des stratus hivernaux du Plateau (voir Tableau 16).

Tableau 16  
Moyennes mensuelles de la nébulosité (N) et de l'insolation relative (S) dans le Jura occidental et à Neuchâtel, 1921—1950, en % (S + N voir Tableau 33.)

	Mont Soleil		La Chaux-de-Fonds		Neuchâtel	
	S	N	S	N	S	N
Janvier	30	67	31	63	16	82
Février	35	64	35	60	31	69
Mars	41	60	41	55	43	61
Avril	39	65	38	61	45	63
Mai	39	63	39	59	48	61
Juin	47	58	47	54	56	55
Juillet	50	55	49	51	58	52
Août	51	53	50	49	57	52
Septembre	48	55	48	51	49	57
Octobre	41	61	41	57	32	70
Novembre	32	67	33	63	17	82
Décembre	27	69	29	65	12	85
Année	41	61	41	57	42	66

Si nous ne comparions que les résultats de l'estimation de la nébulosité, La Chaux-de-Fonds jouirait d'un climat beaucoup plus ensoleillé que Neuchâtel et cela pendant toute l'année. L'erreur devient flagrante si l'on compare les sommes S + N des deux stations. Il est clair que de pareils résultats pourraient facilement prêter à confusion, d'autant plus que La Brévine par exemple, située dans une région similaire, et le Mont Soleil à une altitude un peu différente, mais à 15 km seulement de La Chaux-de-Fonds, ont des moyennes de N plus élevées que cette dernière. La durée d'insolation relative en revanche est pratiquement la même au Mont Soleil et à La Chaux-de-Fonds. Ainsi, seul le personnel desservant la station est responsable de pareils écarts, comme nous l'avons déjà indiqué dans le premier chapitre. Au Mont Soleil et à La Brévine, les résultats de N ne sont pas non plus satisfaisants: l'estimation de la nébulosité semble inégale, en particulier à la suite de changements du personnel. Notre méthode aura, certes, des difficultés à fournir une valeur de l'insolation en de telles stations, il sera préférable de se référer uniquement aux indications des héliographes.

2. Les Grisons (Tableau 17)

Tableau 17  
Moyennes mensuelles de la nébulosité dans les Grisons, en %; entre parenthèses les valeurs de S à St. Moritz et à Schuls. Les moyennes sont établies d'après la période 1921—1950, sauf à Schuls et à St. Moritz où elles se rapportent à 1932—1950.

	Arosa	Davos	Schiers	Coire	Seewis*	Platta (Medels)	Schuls	St. Moritz
Janvier	57	57	61	61	62	59	52 (48)	45 (48)
Février	56	54	59	58	60	57	52 (52)	45 (53)
Mars	59	57	57	57	60	59	52 (54)	45 (54)
Avril	65	64	64	63	65	68	56 (51)	51 (52)
Mai	67	65	63	63	63	69	62 (45)	57 (44)
Juin	66	64	60	59	62	61	56 (51)	50 (51)
Juillet	61	60	56	55	59	60	52 (57)	46 (56)
Août	59	58	54	55	55	58	52 (55)	48 (56)
Septembre	58	57	55	55	56	59	51 (55)	48 (54)
Octobre	56	55	57	56	57	59	53 (52)	48 (52)
Novembre	58	58	63	63	62	62	56 (45)	48 (45)
Décembre	56	55	62	63	63	59	52 (45)	46 (46)
Année	60	59	59	59	60	61	54 (51)	48 (51)

\* Valeurs homogénéisées

Les quatre stations disposant d'un héliographe dans les hautes vallées des Grisons sont Davos et Arosa dans le Nord, St. Moritz et Schuls en Engadine. Les deux premières ont des moyennes de nébulosité élevées, ce qui se traduit également par une valeur élevée de  $\Delta$ . Une observation plus soignée des différentes sortes de nuages est probablement le fruit de l'instruction plus poussée du personnel des deux observatoires (Lichtklimatisches Observatorium à Arosa, Observatoire physico-météorologique à Davos). Mais nous pouvons supposer, après examen, qu'à peu de chose près les résultats d'autres stations grisonnes ou du voisinage telles que Coire, Ragaz, Schiers, Seewis (1921—35) et Platta dans le Val Medels

fournissent des résultats de N comparables à ceux d'Arosa et de Davos malgré leur situation géographique parfois différente.

Malheureusement les stations de l'Engadine sont moins bien comparables. A Schuls et à ses résultats corrects, quoique inférieurs à ceux des deux stations précédentes, s'opposent St. Moritz et ses moyennes beaucoup trop basses depuis la mise en service de la nouvelle station en 1922. Puisque les moyennes de la durée d'insolation relative sont à peu de chose près égales aux deux stations, il est facile de dépister l'erreur. Les stations de Bever, Sils-Maria, Sta Maria ont des résultats inégaux, ceux de Bever étant les meilleurs. Dans cette partie des Grisons, il est préférable de se baser sur les indications fournies par les héliographes qui permettent une estimation assez sûre des valeurs de l'insolation.

### 3. Valais et vallée du Rhône (Tableau 18)

Tableau 18

Moyennes mensuelles de la nébulosité dans la vallée du Rhône, 1931—1950, en %; entre parenthèses les valeurs S.

	Sion	Montana	Leukerbad	Zermatt	Leysin
Janvier	54	52 (46)	50	42	55 (41)
Février	51	49 (50)	50	40	53 (44)
Mars	48	48 (53)	50	41	51 (48)
Avril	51	51 (52)	53	45	54 (46)
Mai	55	55 (48)	56	53	58 (44)
Juin	49	49 (56)	49	45	53 (49)
Juillet	44	45 (61)	44	40	48 (55)
Août	45	45 (60)	45	41	48 (54)
Septembre	45	46 (57)	46	42	50 (51)
Octobre	47	47 (55)	47	44	53 (46)
Novembre	54	51 (47)	52	44	57 (39)
Décembre	51	48 (46)	48	41	51 (42)
Année	49	49 (53)	49	43	53 (47)

En Valais, il n'y a que deux héliographes; l'un, à Montana, est en fonction depuis 1928, l'autre, à Sion, depuis 1941 seulement. On peut y joindre encore Leysin et discuter ainsi toute la vallée du Rhône. Tandis qu'à Sion les résultats de la nébulosité semblent corrects et bien observés, ils le sont moins à Leysin et à Montana où on a tendance à négliger les nuages fins du niveau élevé; en tout cas, la somme de S + N nous indique que l'estimation de la nébulosité est nettement trop basse à Leysin. Il semble aussi que les nombreux changements d'observateurs qui se sont succédé ont contribué à l'inégalité des résultats. Dans la moyenne 1931—50, c'est Leysin qui a la nébulosité relativement la plus basse tandis qu'à Montana les moyennes ne baissent que périodiquement jusqu'à donner au cours des dernières années des sommes annuelles de S + N inférieures à 100%. En outre les résultats ne sont pas bien meilleurs et très irréguliers au cours des années dans plusieurs autres stations valaisannes (Leukerbad, Grächen). Il faudra beaucoup de comparaisons minutieuses et bien des réductions pour rendre tout le matériel homogène.

On ne représentera dans le tableau 18 que la période allant de 1931 à 1950; c'est la période la plus acceptable pour les stations de Sion, Leukerbad, Montana, Zermatt et Saas-Fee.

### 4. Versant sud des Alpes (Tableau 19)

Tableau 19

Moyennes mensuelles de la nébulosité au Tessin, 1921—1950, en %; entre parenthèses les valeurs de S.

	Lugano	Mte-Brè	Bellinzone	Grono	Comprovasco	Airolo
Janvier	46 (51)	43 (53)	48	43	44	44
Février	44 (57)	42 (59)	46	41	44	43
Mars	48 (52)	48 (53)	49	46	49	48
Avril	52 (50)	51 (50)	54	52	55	54
Mai	57 (47)	55 (47)	60	59	59	58
Juin	44 (61)	42 (61)	48	49	49	47
Juillet	38 (67)	37 (67)	43	43	45	45
Août	39 (65)	39 (65)	44	43	46	43
Septembre	45 (57)	45 (58)	48	48	49	46
Octobre	51 (50)	50 (52)	51	50	50	48
Novembre	53 (46)	50 (48)	53	50	50	49
Décembre	47 (49)	46 (51)	48	44	46	45
Année	47 (55)	46 (56)	49	47	49	47

NB: La station de Locarno-Monti ne fut mise en service qu'en 1935.

Nous avons déjà parlé des irrégularités des moyennes de N à Lugano qui sont dues à des changements d'observateurs. On le remarque en comparant les résultats généraux de 1921—50 à ceux d'autres stations. Mais étant donné les résultats élevés de la station tessinoise officielle de Locarno-Monti qui sont dus à une observation plus minutieuse d'un personnel spécialisé, il est possible, même en joignant à ces deux stations les moyennes assez basses du Monte Brè, de trouver des sommes moyennes de S + N adéquates et assez sûres pour calculer le degré d'insolation de différentes stations dont N semble bon, comme Bellinzone et Comprovasco et peut-être Airolo et Grono (trop bas).

### 5. Hautes-Alpes (Tableau 20)

Tableau 20

Moyennes mensuelles de la nébulosité sur le Sântis et le Pilate, 1921—1950, en %; entre parenthèses les valeurs de S.

	Sântis	Pilate
Janvier	64 (36)	57
Février	61 (41)	54
Mars	62 (42)	56
Avril	72 (31)	66
Mai	73 (32)	68
Juin	73 (30)	69
Juillet	70 (35)	66
Août	67 (38)	63
Septembre	64 (42)	57
Octobre	60 (45)	53
Novembre	62 (40)	54
Décembre	62 (39)	55
Année	66 (37)	60

Il aurait été intéressant d'avoir pour la même période de 1921 à 1950 des moyennes de quelques stations des Hautes-Alpes également dotées d'un héliographe. Seuls les résultats de N du Sântis sont continus et contrôlables, tandis qu'aux Roehers-de-Naye et au Rigi ils sont inégaux ou bien les observations y ont été interrompues à plusieurs reprises. Au Pilate, l'estimation de la nébulosité est sûrement trop basse si l'on tient compte de l'altitude, de sa situation dominante et exposée ainsi que des résultats du Sântis et de Lucerne. Sur le Jungfraujoeh les observations n'ont commencé qu'en 1938 et l'héliographe mis en service en même temps, ne semble pas fournir des résultats homogènes; il n'y a donc pas grand-chose à chercher de ce côté-là non plus, ce qui exclut la formation d'un groupe pour la région des sommets.

### III. Méthode pour calculer la durée d'insolation moyenne à partir des observations de la nébulosité

#### A. Déduction de la méthode

Après avoir étudié les éléments nécessaires, il est maintenant possible de développer une méthode de détermination de la durée d'insolation pour des stations ne disposant que des résultats de l'estimation de la nébulosité et des données de la durée d'insolation possible, établies à l'aide de l'héliochronomètre.

En connaissant la durée d'insolation relative  $S$  et la nébulosité  $N$ , les deux exprimées en pour-cents, de quelques stations d'une même région climatique (Moyen-Pays, Valais, par exemple), nous pouvons établir des moyennes régionales mensuelles de la somme  $S + N$ , donc aussi de  $\Delta$ , d'après les formules déjà énoncées plus haut:

$$\begin{aligned} S + N &= 100 \% \\ S + N &= 100 + \Delta \end{aligned}$$

Si dans une station de la même région on connaît  $N$ , on peut calculer  $S$  d'après:

$$S = (100 + \Delta) - N,$$

où  $(100 + \Delta)$  se rapporte ici à une valeur moyenne régionale. Si l'on veut connaître les valeurs moyennes de la durée d'insolation effective représentée ici par  $E$ , il faut au préalable connaître les valeurs de la durée d'insolation possible, représentées par  $P$ . On aura alors:

$$E = \frac{S \cdot P}{100}$$

Dans ces formules  $S$  et  $N$  sont indiquées en pour-cents,  $E$  et  $P$  le sont en heures.

Cette méthode sera sans doute fort pratique si l'homogénéité des résultats de l'estimation de la nébulosité est réalisée. Comme on vient de le voir, cette dernière condition n'est pas remplie partout. D'autre part, dans un pays montagneux comme la Suisse, d'autres difficultés se présentent qui proviennent tout d'abord de la quantité des régions climatiques différentes, ne disposant pas toutes d'héliographes, et des différences causées par la configuration de l'horizon visible d'un lieu. Dans le premier cas, on peut dire qu'en somme presque toutes les grandes régions du pays sont représentées par des moyen-

nes de  $\Delta$ . Ainsi, dans le Moyen-Pays et au pied nord du Jura fonctionnent une quantité d'héliographes près desquels on observe simultanément la nébulosité. Dans le Jura, il y a bien moins de stations et les observations de la nébulosité n'y sont pas bien plus nombreuses et parfois sujettes à caution. Le pied sud des Alpes a trois héliographes répartis sur trois stations observant également la nébulosité. Dans les Alpes elles-mêmes, il y a une quantité de stations héliographiques surtout dans les hautes vallées grisonnes, tandis que dans les Préalpes, c'est-à-dire sur le versant proprement nord des Alpes, toutes les stations ont des résultats défectueux (Braunwald, Walenstadtberg et Beatenberg). C'est malheureusement une lacune, car cette région est très vaste et très intéressante et on peut espérer qu'à l'avenir ces stations fourniront des résultats dignes de confiance, puisqu'il a été en grande partie possible d'écartier les sources d'erreurs. En Valais et dans la vallée du Rhône en général, il y a 3 stations qui ne sont pas toutes à même de fournir les résultats nécessaires pour former un groupe de stations homogènes dans cette région. Les hauts sommets n'ont qu'une station, le Saentis, qui, à elle seule, ne peut pas être représentative pour tous les sommets alpins, mais reste néanmoins un type caractéristique. Dans les tableaux 21 à 27 et dans les commentaires qui suivent, on expose avec plus de détails les données essentielles pour l'application de la méthode, c'est-à-dire les valeurs mensuelles de  $S + N$  pour chaque station, en les soumettant, s'il y a lieu, à une courte étude critique.

#### a) *Moyen-Pays et pied nord du Jura* (Tableau 21)

Dans cette région, il y a le plus grand nombre de stations qui enregistrent  $S$  et observent  $N$  et il sera plus aisé d'y appliquer la méthode. Ce groupe comprend les stations de Bâle, Hallau, Zurich, Lucerne, Berne, Neuchâtel, Lausanne et Genève. Il est représenté dans le tableau par les deux périodes de 1921—1950 et de 1911 à 1950, cette dernière comprend presque le plus grand nombre d'années possibles pendant lesquelles des valeurs homogènes de  $\Delta$  sont disponibles pour toutes ces stations. La station de Montreux-Clarens est un cas limite

Tableau 21

Moyennes mensuelles de la somme  $S + N$  des stations du Moyen-Pays et du pied nord du Jura, 1921—1950. Entre parenthèses les valeurs de  $S + N$  pour la période 1911—1950.

	Bâle	Hallau	Zurich	Lucerne	Berne	Neuchâtel	Lausanne	Genève
Janvier	101 (101)	97 ( 97)	101 (100)	99 ( 99)	99 ( 99)	98 ( 99)	98	101 (101)
Février	102 (103)	98 ( 98)	103 (101)	101 (100)	100 (101)	101 (101)	100	102 (102)
Mars	104 (104)	98 ( 99)	104 (102)	102 (102)	101 (102)	104 (104)	97	103 (103)
Avril	107 (107)	102 (102)	108 (105)	106 (105)	105 (105)	108 (108)	101	107 (107)
Mai	109 (109)	104 (104)	110 (108)	107 (107)	106 (107)	110 (111)	103	108 (108)
Juin	110 (111)	104 (104)	112 (110)	108 (108)	109 (109)	110 (111)	104	108 (109)
Juillet	109 (109)	103 (104)	111 (109)	108 (108)	108 (108)	110 (111)	104	108 (108)
Août	107 (107)	103 (103)	110 (108)	107 (107)	107 (108)	108 (109)	102	107 (107)
Septembre	106 (106)	101 (101)	107 (104)	104 (104)	106 (106)	106 (106)	100	106 (105)
Octobre	106 (106)	99 ( 99)	105 (103)	103 (102)	103 (104)	101 (101)	99	104 (103)
Novembre	103 (103)	99 ( 98)	103 (101)	101 (101)	102 (102)	99 ( 99)	99	102 (101)
Décembre	101 (101)	98 ( 97)	101 (100)	100 (100)	98 ( 98)	97 ( 97)	97	101 (100)
Année	107 (108)	103 (103)	108 (108)	107 (106)	106 (106)	107,5 (108)	103	107,5 (108)
Amplitude	9 ( 10)	6 ( 7)	11 ( 10)	9 ( 9)	11 ( 11)	13 ( 14)	7	7 ( 9)

que l'on peut aussi bien rattacher au Moyen-Pays (région du Lac Léman) qu'à la vallée du Rhône et c'est pourquoi elle n'est pas incluse dans la moyenne régionale du Moyen-Pays.

En considérant le tableau 21, on s'aperçoit rapidement que les résultats de S + N ne sont pas identiques pour toutes les stations, Lausanne et Hallau en particulier, frappant par les grandes différences qui caractérisent leurs moyennes mensuelles comparées à celles des six autres stations dont les résultats ne sont généralement pas très différents entre eux.

On peut se demander s'il faut vraiment considérer toutes les stations représentées dans le tableau 21 ou si l'on peut éliminer celles qui par leurs résultats diffèrent nettement des moyennes générales. Il semble préférable lors du contrôle de la méthode de ne pas tenir compte tout d'abord des deux stations de Lausanne et de Hallau dont l'estimation de la nébulosité est trop basse par rapport aux autres stations. Or, puisqu'il faudra de toute façon corriger les estimations de la nébulosité où cela est possible et nécessaire en vue d'appliquer sans autre la méthode en question, il semble permis d'opérer de la même manière lorsqu'il s'agit de calculer une moyenne régionale homogène de  $\Delta$ .

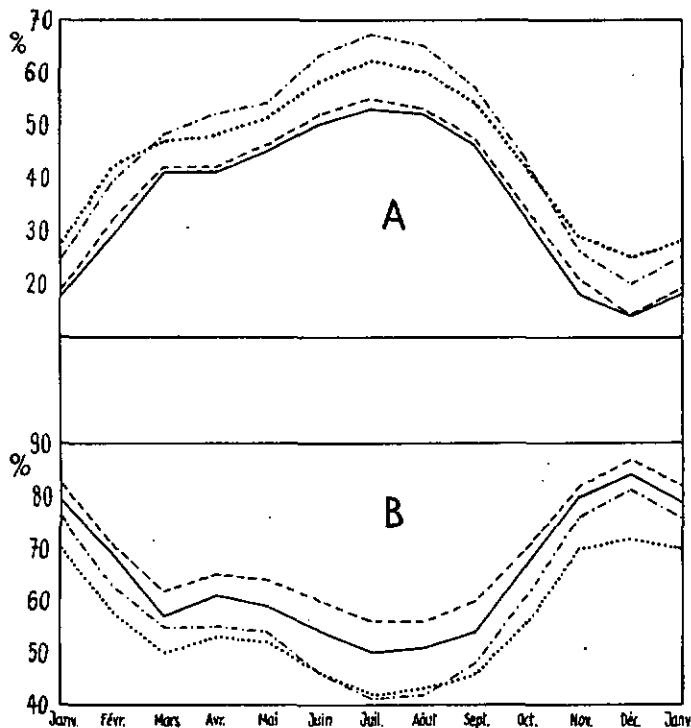


Fig. 2: Variation annuelle de la durée d'insolation (A) et de la nébulosité (B)

Hallau ———— Lausanne .....  
Zurich - - - - - Genève - . - . - .

Un coup d'œil sur la figure 2 permet d'apprécier les différences considérables qui existent entre les valeurs de la durée d'insolation relative de Zurich et de Hallau d'une part, de Genève et de Lausanne de l'autre, et de celles de la nébulosité qui, pour Lausanne et Hallau, diffèrent sensiblement des mêmes stations de comparaison citées auparavant et dont les résultats sont homogènes.

b) *Jura occidental* (Tableau 22)

Les deux stations que nous avons à notre disposition, La Chaux-de-Fonds et le Mont Soleil, sont pourvues d'autographes fournissant des résultats analogues. La distance qui les sépare est minime (moins de 15 km) et elles sont également situées à 1000 m d'altitude environ dans un cadre semblable. Tandis que S est pratiquement le même aux deux endroits, N et  $\Delta$  sont fort différents (voir Tableau 16).

Tant que les autres stations observant la nébulosité dans cette région ont des résultats de N trop bas, rien ne s'oppose à l'application de la méthode. Les stations qui observent la nébulosité sont très clairsemées: La Bré-

Tableau 22

Moyennes mensuelles de la somme S + N dans le Jura occidental, 1921—1950. Entre parenthèses les valeurs de 1921—1930 sur le Mt-Soleil.

	La Chaux-de-Fonds	Mont Soleil
Janvier	94	97 ( 99)
Février	95	99 (102)
Mars	96	100 (102)
Avril	99	103 (105)
Mai	97	103 (106)
Juin	101	105 (110)
Juillet	101	105 (108)
Août	99	104 (108)
Septembre	99	103 (105)
Octobre	98	102 (104)
Novembre	96	99 ( 99)
Décembre	93	96 ( 99)
Année	99	102 (105)
Amplitude	8	9 ( 11)

vine, dont les résultats sont semblables à ceux du Mont Soleil, et Chaumont avec ses résultats inégaux et en général trop bas satisfont à cette condition. Il serait cependant bien préférable que les résultats de  $\Delta$  s'améliorent et se rapprochent d'une moyenne qui ressemble à celle du Moyen-Pays dans ses grandes lignes, comme c'est déjà le cas au Mont Soleil pour la courte période de 1921 à 1930, avant que les moyennes de N n'empirent trois ans après l'entrée en service d'un nouvel observateur en 1934.

c) *Vallée du Rhône* (Tableau 23)

Dans cette vallée et dans les autres groupes qui suivent, il n'a pas été possible de s'en tenir à la période de base allant de 1921 à 1950, car en désirant ne comparer

Tableau 23

Moyennes mensuelles de la somme S + N dans la vallée du Rhône, 1931—1950 (Sion 1941—1950).

	Leysin	Montana	(Sion)	Moyenne 1931—1950 (sans Sion)
Janvier	96	98	96	97
Février	97	100	101	98,5
Mars	99	101	104	100
Avril	100	103	107	101,5
Mai	102	103	110	102,5
Juin	103	106	111	104,5
Juillet	103	106	110	104,5
Août	102	105	107	103,5
Septembre	100	103	104	101,5
Octobre	99	101	103	100
Novembre	96	98	98	97
Décembre	93	95	90	94
Année	100	102	105	101
Amplitude	10	11	21	10

ici que des groupes homogènes, disposant de séries d'observations et d'enregistrements semblables, on a été obligé de raccourcir les périodes afin de pouvoir insérer dans nos moyennes le plus de stations possibles. Ainsi, dans ce groupe Montana et Leysin ne disposant d'enregistrements homogènes de S que depuis 1928 et 1930, on a choisi la période allant de 1931 à 1950. On fera abstraction de Sion, dont les résultats s'étendent sur dix années seulement, résultats qui sont encore hypothéqués par un changement d'emplacement de l'héliographe en 1947.

A première vue, ce sont les résultats de Leysin qui frappent par leurs valeurs très basses. Ils sont dus, il en a déjà été question, aux valeurs de N trop basses notamment par rapport à Montana. L'amplitude à Leysin et à Montana est semblable à celle du Moyen-Pays, c'est peut-être une preuve du trop peu d'attention porté à l'observation des cirrus. Mais il est aussi possible que le givrage des boules de verre réduise les valeurs de S en hiver surtout.

En comparant Leysin et Montana avec Sion (période 1941—50 uniquement), on constate qu'en cette dernière station les valeurs de  $\Delta$  ne sont à l'exception de celles de décembre, pas pareilles à celles des deux premières, mais semblables à celles du Moyen-Pays. Mais l'amplitude annuelle y a une valeur double. Il n'est guère concevable qu'on observe N différemment en été et en hiver. D'autre part, les valeurs de l'insolation possible mesurées à l'héliochronomètre, sont pratiquement les mêmes qui sont enregistrées par l'héliographe lors des jours sans nuages. Il semble qu'ici le givrage de la boule de verre joue un rôle qu'il serait bon d'examiner.

#### d) Les Grisons (Tableau 24)

Tableau 24

Moyennes mensuelles de la somme S + N dans les hautes vallées grisonnes, 1931—1950; entre parenthèses valeurs de 1921—1950.

	Arosa	Davos	Schuls	St. Moritz	Moyenne avec sans St. Moritz	
Janvier	107 (106)	104 (102)	101	93	101	104
Février	109 (108)	106 (106)	104	98	104	106
Mars	110 (110)	109 (109)	105	100	106	108
Avril	112 (111)	110 (109)	106	102	107	109
Mai	112 (111)	110 (109)	107	101	108	110
Juin	113 (113)	112 (112)	107	101	108	111
Juillet	113 (113)	113 (113)	108	101	109	111
Août	112 (111)	111 (111)	107	103	108	110
Septembre	111 (111)	110 (109)	106	101	107	109
Octobre	111 (111)	110 (109)	105	100	106	109
Novembre	107 (107)	107 (106)	101	93	102	105
Décembre	105 (105)	100 (99)	98	91	99	101
Année	110 (109)	109 (108)	105	101	106	108
Amplitude	7 ( 8)	13 ( 14)	10	12	10	10

Dans les hautes vallées des Grisons, les stations se répartissent sur trois vallées: Engadine, Schanfigg, vallée de la Landwasser. On a dû choisir la période de 1931 à 1950 parce qu'à Schuls l'héliographe n'a été mis en service qu'en 1930. Les valeurs de  $\Delta$  sont assez différentes suivant les stations. A Arosa et à Davos, elles sont plus élevées qu'à Schuls et surtout qu'à St. Moritz, où les enregistrements de l'insolation sont pourtant bons. A St. Moritz, les résultats de l'observation de la nébulosité sont en revanche sûrement beaucoup trop bas (voir

chapitre II C). Nous ne doutons pas que les deux instituts scientifiques d'Arosa et de Davos et leur personnel spécialisé prêtent davantage d'attention aux nuages élevés et en tous cas contrôlent mieux leurs héliographes en hiver (givrage). En moyenne, les valeurs de  $\Delta$ , à l'exclusion de celles de St. Moritz où N ne peut être pris en considération, sont assez semblables à celles du Moyen-Pays, quoique passablement plus élevées en hiver; ceci s'explique facilement par la plus grande quantité de nuages élevés et transparents observables en montagne à cette époque et par la plus grande pureté de l'air, qui permet à l'héliographe d'enregistrer dès que les premiers rayons du soleil apparaissent au-dessus de l'horizon.

#### e) Pied sur des Alpes (Tableau 25)

Tableau 25

Moyennes mensuelles de la somme S + N au Tessin, 1937—1950; entre parenthèses valeurs de 1921—1950.

	Lugano	Mte-Bré	Locarno	Moyenne
Janvier	100 ( 97)	98	103	100
Février	105 (101)	104	107	105
Mars	104 (100)	104	106	105
Avril	105 (102)	103	108	105
Mai	106 (104)	104	108	106
Juin	107 (105)	105	112	108
Juillet	108 (106)	108	112	109
Août	107 (104)	107	109	108
Septembre	103 (102)	104	108	105
Octobre	103 (101)	103	107	105
Novembre	101 ( 98)	99	105	102
Décembre	98 ( 96)	97	102	99
Année	105 (102)	104	108	106
Amplitude	10 ( 10)	11	10	10

Il se pose ici une question semblable à celle du paragraphe précédent: Une station spécialisée, l'observatoire tessinois à Locarno-Monti, obtient des valeurs de  $\Delta$  plus élevées que les observateurs à Lugano et au Monte Brè; ceci est probablement causé par une appréciation plus exacte des nuages élevés et translucides. A part cela, les moyennes régionales sont à peu de chose près pareilles à celles du Moyen-Pays. Elles ne se rapportent qu'à 14 années, car les enregistrements de la durée d'insolation n'ont commencé qu'en 1937 à Locarno, au Monte Brè ils ne sont utilisables que depuis 1934. Mais, puisque  $\Delta$  est une relation, donc une grandeur théoriquement invariable, il semble permis de comparer ces valeurs de 1937 à 1950 à celles du Moyen-Pays de 1921—50 aussi bien qu'à celles de 1931—50 des vallées grisonnes. Remarquons aussi, que les valeurs élevées de l'hiver à Locarno par rapport au Moyen-Pays sont sûrement dues au manque de brouillard élevé ou non qui permet une meilleure observation des cirrus. Les amplitudes annuelles sont pour ainsi dire identiques aux trois stations.

#### f) Les moyennes régionales

Si l'on excepte les moyennes insuffisantes du Jura et de la vallée du Rhône, les moyennes mensuelles des autres régions montrent certaines divergences assez intéressantes notamment en hiver, où les valeurs du Moyen-Pays restent inférieures à celles des hautes vallées à la

Tableau 26

Moyennes mensuelles régionales de la somme S + N.

	Moyen-Pays + pied nord du Jura 1921—1950		Jura occiden- tal 1921—1950	Vallée du Rhône 1931—1950	Htes. vallées grisonnes 1931—1950	Tessin 1937—1950
	a	b				
	Janvier	99	100	95,5	97	104
Février	101	101,5	97	98,5	107	105
Mars	102	103	98	100	108	105
Avril	105,5	107	101	101,5	109	105
Mai	107	108,5	100	102,5	110	106
Juin	108	110	103	104,5	111	108
Juillet	108	109,5	103	104,5	111	109
Août	106	109	101,5	103,5	110	108
Septembre	104,5	106	101	101,5	109	105
Octobre	102,5	104	100	100	109	105
Novembre	101	102	97,5	97	105	102
Décembre	99	100	94,5	94	102	99
Année	106	107,5	101,5	101	108	106
Amplitude	9	10	8,5	10	11	10

a) Toutes les stations; b) sans Lausanne, ni Hallau.

suite du plafond de brouillard qui empêche l'observation des nuages supérieurs; d'autre part la concordance des amplitudes de la marche annuelle est remarquable.

Grâce à une récente publication de F. Steinhäuser (30) qui se base d'ailleurs sur une courte communication de Mörlikofer et Nagel (24), il est possible de comparer les données suisses des sommes moyennes mensuelles de S + N avec celles de l'Autriche, un pays qui, au point de vue géographique, ressemble beaucoup à la Suisse (Tableau 27).

Tableau 27

Moyennes mensuelles de la somme S + N en Autriche.

	Stations de basse altitude				Stations de montagne	
	Versant nord		Versant sud des Alpes		Autriche	Suisse
	Autriche	Suisse	Autriche	Suisse		
Janvier	98	99	98	100	102	104
Février	102	101	102	105	105	107
Mars	103	102	104	105	107	108
Avril	106	105,5	106	105	109	109
Mai	108	107	107	106	109	110
Juin	109	108	110	108	111	111
Juillet	109	108	109	109	111	111
Août	108	106	107	108	109	110
Septembre	105	104,5	107	105	108	109
Octobre	102	102,5	104	105	107	109
Novembre	100	101	100	102	103	105
Décembre	99	99	97	99	101	102
Année	106	107,5	106	106	107	108
Amplitude	10	10	13	10	10	11

On peut prétendre que la concordance des résultats autrichiens avec ceux de la Suisse est bonne, même si parfois quelques écarts se produisent, en hiver par exemple entre le Moyen-Pays et les régions correspondantes d'Autriche, ainsi qu'entre le Tessin et le pied sud des Alpes autrichiennes. L'amplitude annuelle n'est différente que dans le groupe des stations de basse altitude du pied sud des Alpes (Klagenfurt, Graz, etc.), qui, strictement parlé, ne sont pas identiques, quant à leur situation, aux stations tessinoises.

Au début de ce chapitre on a mentionné une autre difficulté d'application de notre méthode de détermination de l'insolation moyenne d'un lieu, causée par les différences de configuration de l'horizon des divers points des Alpes surtout. On a reconnu depuis longtemps déjà que le rythme journalier de la durée d'insolation relative accuse un minimum le matin et le soir ou plutôt une

croissance très rapide des valeurs pendant les premières heures de la journée et une décroissance toujours plus rapide vers le soir.

Il semble que trois effets particuliers se combinent ici, dont deux nous sont déjà connus: 1. l'effet de coulisse des nuages proches de l'horizon, 2. la diminution de l'intensité du rayonnement sous la limite de sensibilité de l'héliographe lorsque le soleil est bas et 3. l'augmentation du degré de nébulosité le matin et le soir par rapport au milieu de la journée, d'où résulte une forte accentuation du premier effet.

Dans un pays de montagnes où l'horizon est fortement découpé, il est juste d'admettre qu'en un lieu où la trajectoire du soleil n'est visible qu'au milieu de la journée les deux premiers effets disparaissent pour faire place à une durée d'insolation relative plus grande qu'à un autre endroit où l'horizon est très découvert. Il est certain que de telles différences sont possibles dans une région restreinte comme dans une vallée des Alpes par exemple et gagnent en importance lorsqu'il s'agit de déterminer la durée d'insolation de divers points à partir des trajectoires solaires et de la durée d'insolation relative d'une seule station de la même vallée, comme l'a fait J. C. Thams (32 et 33) pour la plaine de Magadino avec les données de l'héliographe de Locarno. A ce moment, comme J. C. Thams le fait remarquer à la suite d'une suggestion de H. Uttinger, des erreurs dues aux différentes configurations des horizons respectifs peuvent atteindre des valeurs allant jusqu'à quelques pour-cents dans des cas extrêmes. Par ailleurs, nous avons remarqué que, ce qui est d'importance pour différents points d'une petite unité géographique, n'est plus valable d'une région à l'autre. Ainsi par exemple, en voulant calculer la durée d'insolation relative à Arosa à partir de la marche journalière de celle de Davos, situé dans une région climatique fort semblable, mais dans une situation topographique différente, on obtient des valeurs beaucoup trop basses. En comparant encore la marche journalière de la durée d'insolation en d'autres stations (Zurich, Davos, St. Moritz, Lausanne, Montreux et Sierre), on constate que ce rythme diurne semble être indépendant de la configuration de l'horizon. Il semble plutôt que la nébulosité du matin et du soir persiste sur l'horizon, que celui-ci soit élevé ou très bas, et, qu'en montagne, dans une station de vallée, on constatera en moyenne plus longtemps des nuages sur les crêtes qui forment l'horizon car le soleil s'y lève relativement tard et s'y couche plus tôt que dans une station avec un horizon dégagé; en ces dernières, en revanche, on remarque surtout des nuages éloignés, donc plus proches de l'horizon astronomique et qui produisent un effet de coulisse plus tôt et plus tard dans la journée que dans les stations de vallée. En principe, le résultat est le même pour les deux situations, mais il se rapporte à des moments différents. Deux stations différemment placées ne devront donc pas nécessairement observer une durée d'insolation relative différente, parce que la configuration de leurs horizons respectifs est différente. Ainsi, Arosa, situé plus haut sur les flancs de la montagne et Davos, qui est presque au fond d'une vallée, ont des configurations d'horizon différentes qui se traduisent fort bien dans le tableau 28 où sont juxtaposés

posées les valeurs des durées d'insolation possibles et relatives des deux stations.

Tableau 28

Valeurs mensuelles de la durée d'insolation possible et moyennes (1921—1950) de la durée d'insolation relative à Davos et à Arosa.

	Davos heures	Arosa heures	Davos %	Arosa %
Janvier	173	203	46	49
Février	189	216	49	50
Mars	278	305	51	51
Avril	322	344	48	48
Mai	368	406	43	43
Juin	369	412	48	48
Juillet	376	417	53	52
Août	351	377	51	51
Septembre	296	317	53	53
Octobre	235	260	52	54
Novembre	180	210	47	49
Décembre	163	184	45	49
Année	3300	3651	49	49

A Davos, en décembre et en janvier, le soleil se lève jusqu'à 1 heure par jour plus tard qu'à Arosa et se couche une vingtaine de minutes plus tôt; malgré les 20 à 30 heures d'insolation possible supplémentaires et malgré le climat semblable des deux localités, l'insolation relative est plus grande à Arosa qu'à Davos, donc le contraire de ce qu'on était en droit de supposer. De septembre à octobre et de février à juin, les valeurs sont pratiquement identiques malgré l'horizon plus dégagé d'Arosa, et le petit déficit de cette dernière station pen-

nant l'été provient certainement de sa situation plus élevée sur le flanc de la montagne (nuages, brouillard). Pourtant, il est très probable qu'à l'intérieur des vallées respectives de Davos et d'Arosa, on peut trouver des divergences dans les valeurs de la durée d'insolation relative par rapport à la situation actuelle, causées par des différences de configuration de l'horizon sur de petites distances.

Des objets rapprochés (constructions, arbres, etc.) peuvent masquer l'horizon visible jusqu'à des hauteurs suffisantes pour provoquer une légère augmentation de la durée d'insolation relative totale par rapport à celle d'un emplacement dégagé où les effets précités se font sentir; car dans ce cas les premières ou les dernières heures d'insolation de la journée sont en somme artificiellement écartées. Pourtant aucune des déductions qui viennent d'avoir été énoncées n'ont encore été prouvées par l'expérience et il serait très intéressant de faire des mesures héliographiques adéquates afin de les confirmer. De toute façon, les différences qui pourraient survenir (Thams [33]) restent généralement faibles et d'ordre local. Il ne semble d'ailleurs pas que la relation entre S et N et par la suite notre méthode s'en ressentent sérieusement, d'autant plus qu'en groupant, comme cela a été fait, dans ce travail, les stations par régions climatiques, qui, chez nous, sont aussi dictées par les conditions topographiques, on atténuera dans la plupart des cas les différences les plus grossières qui peuvent exister d'une région à l'autre.

## B. Contrôle de la méthode

Afin de prouver la valeur et l'efficacité de la méthode qui vient d'avoir été développée, il est nécessaire de vérifier les résultats qu'elle fournit. A cet effet, on peut procéder de deux manières différentes. Tout d'abord, il est possible d'examiner les erreurs des éléments de base, d'une part pour les stations qui nous servent de point de départ et de comparaison: les résultats de l'observation de la nébulosité, la durée de l'insolation possible, relative et effective, ainsi que la somme S + N, d'autre part pour la station qu'on veut examiner: les résultats de l'observation de la nébulosité et la durée d'insolation possible. Ce procédé est assez compliqué, vu qu'il faut tenir compte de toutes les possibilités d'erreur particulières à chacune des composantes énoncées plus haut et cela pour chaque station. D'ailleurs, ce procédé ne mène pas à un problème de physique pure, où il est possible d'évaluer à partir des différentes sources d'erreurs, l'erreur totale; car dans notre cas, il faut tenir compte, non seulement des erreurs particulières de chaque héliographe et de la qualité de ses cartes d'enregistrement, souvent très différentes, mais encore de la subjectivité des différents observateurs dans l'estimation de la nébulosité, dont les conséquences se voient surtout lors de changements d'observateurs. Dans la somme S + N plusieurs de ces sources d'erreur se superposent, mais ce sont tout de même les valeurs de N qui influencent le plus l'erreur probable (voir II A et Steinhäuser [30]).

Pour cette raison, il nous a semblé préférable de procéder de la seconde manière pour contrôler les résul-

tats obtenus au moyen de la méthode exposée, c'est-à-dire de les comparer empiriquement avec des résultats connus. De cette façon, on obtient des valeurs numériques assez précises pour juger la qualité des résultats obtenus, ce qui ne serait pas aussi facile avec le premier procédé. On a opéré de la façon suivante: On forme les moyennes régionales mensuelles de S + N, à partir de toutes les stations de la région qui enregistrent la durée d'insolation et observent la nébulosité, à l'exception d'une seule station utilisée pour le contrôle. A l'aide de ces moyennes d'une part, et des résultats de N et de P (établis à l'aide de l'héliochronomètre) de la station de contrôle d'autre part, on calcule sa durée d'insolation effective. La comparaison de ces résultats avec les valeurs connues nous procure des indications précieuses sur la valeur de la nouvelle méthode. Pour donner à ces comparaisons une validité générale, on procède de même et à tour de rôle, pour chaque station de chaque région. Dans le tableau 29 on représente pour la station de Zurich les différentes étapes du procédé que nous avons décrit.

En admettant que les résultats de l'observation de la nébulosité ont été obtenus à toutes les stations d'une région avec les mêmes erreurs et que N est de cette façon homogène, les valeurs calculées et enregistrées de la durée d'insolation seront semblables pour chaque station. Mais étant donné les différences parfois considérables qui peuvent se faire valoir d'une station à l'autre, notamment en ce qui concerne les résultats de l'observation de la nébulosité, on pourra s'attendre à trouver, pour

Tableau 29

Calcul de contrôle de la durée d'insolation à Zurich à partir de la moyenne régionale de la somme S + N de 5 stations du Moyen-Pays, sans Zurich, 1921—1950.

S = Durée d'insolation relative.  
 N = Degré de nébulosité.  
 P = Durée d'insolation possible.  
 E = Durée d'insolation effective.  
 Diff. E = Durée d'insolation effective calculée, moins durée d'insolation enregistrée.  
 hs = heures.

	a) S + N Moy. région. Moyen-Pays	b) N Zurich	c) S calculé (c = a - b)	d) S enreg.	e) P mesuré héliochr.	f) E calculé (f = c · e)	g) E enreg.	h) Diff. E (h = f - g)	
	%	%	%	%	hs	hs	hs	hs	%
Janvier	100	82	18	19	249	45	46	- 1	- 2
Février	101	71	30	32	264	79	83	- 4	- 5
Mars	103	62	41	42	343	141	145	- 4	- 2
Avril	107	65	42	42	387	163	163	0	0
Mai	108	64	44	46	441	194	201	- 7	- 3
Juin	109	60	49	52	445	218	230	- 12	- 5
Juillet	109	56	53	55	451	239	247	- 8	- 3
Août	108	56	52	53	420	218	222	- 4	- 2
Septembre	106	60	46	47	356	164	167	- 3	- 2
Octobre	103	70	33	34	315	104	108	- 4	- 4
Novembre	102	82	20	21	256	51	53	- 2	- 4
Décembre	99,5	87	12	14	238	29	32	- 3	- 9
Année	107	68	39	40	4164	1645	1697	- 52	- 3

certaines stations, d'assez grandes différences entre les valeurs calculées et enregistrées. Afin d'obtenir des résultats utilisables, il sera par conséquent judicieux d'écarter, comme base de calcul, des stations où N ne concorde pas avec les résultats des autres stations de la région, comme par exemple Lausanne et Hallau dans le Moyen-Pays, ou St. Moritz dans les Grisons.

Suit une discussion des résultats de ce contrôle obtenus dans différentes régions climatiques de la Suisse.

#### a) Moyen-Pays et pied nord du Jura (Tableau 30 et 31)

Tableau 30

Résultats du calcul de contrôle de la durée d'insolation pour les 6 meilleures stations du Moyen-Pays, 1921—1950.

	1. Zurich		E		Diff. E calc.	
	S calculé %	S enregistré %	calculé hs	enregistré hs	- E hs	enregistré %
Janvier	18	19	45	46	- 1	- 2
Février	30	32	79	83	- 4	- 5
Mars	41	42	141	145	- 4	- 2
Avril	42	42	163	163	0	0
Mai	44	46	194	201	- 7	- 3
Juin	49	52	218	230	- 12	- 5
Juillet	53	55	239	247	- 8	- 3
Août	52	53	218	222	- 4	- 2
Septembre	46	47	164	167	- 3	- 2
Octobre	33	34	104	108	- 4	- 4
Novembre	20	21	51	53	- 2	- 4
Décembre	12	14	29	32	- 3	- 9
Année	39	40	1645	1697	- 52	- 3

#### 2. Bâle

Janvier	25	26	65	65	0	0
Février	32	33	87	86	+ 1	+ 1
Mars	40	42	141	140	+ 1	+ 1
Avril	41	41	161	158	+ 3	+ 2
Mai	43	44	196	195	+ 1	0
Juin	50	51	232	228	+ 4	+ 2
Juillet	54	54	253	245	+ 8	+ 3
Août	53	52	226	219	+ 7	+ 3
Septembre	47	47	171	165	+ 6	+ 3
Octobre	33	35	106	109	- 3	- 3
Novembre	23	25	61	63	- 2	- 3
Décembre	19	21	46	50	- 4	- 8
Année	41	41	1745	1723	+ 22	+ 1

#### 3. Lucerne

	S calculé %	S enregistré %	E calculé hs	E enregistré hs	Diff. E calc.	
					- E hs	enregistré %
Janvier	18	18	42	42	0	0
Février	31	30	80	79	+ 1	+ 1
Mars	41	41	140	139	+ 1	+ 1
Avril	43	41	164	158	+ 6	+ 4
Mai	43	42	193	187	+ 6	+ 3
Juin	48	46	219	208	+ 11	+ 5
Juillet	52	51	240	235	+ 5	+ 2
Août	49	49	204	205	- 1	0
Septembre	45	43	159	153	+ 6	+ 4
Octobre	33	32	103	99	+ 4	+ 4
Novembre	21	20	51	50	+ 1	+ 2
Décembre	14	14	31	32	- 1	- 3
Année	39	38	1626	1587	+ 39	+ 2

#### 4. Berne

Janvier	24	23	63	58	+ 5	+ 9
Février	36	35	99	93	+ 6	+ 6
Mars	44	42	157	145	+ 12	+ 8
Avril	44	43	174	164	+ 10	+ 6
Mai	47	44	212	196	+ 16	+ 8
Juin	53	53	243	234	+ 9	+ 4
Juillet	57	56	264	252	+ 12	+ 5
Août	56	55	240	230	+ 10	+ 4
Septembre	50	50	184	179	+ 5	+ 3
Octobre	38	37	124	118	+ 6	+ 5
Novembre	24	24	64	62	+ 2	+ 3
Décembre	19	17	46	42	+ 4	+ 9
Année	43	42	1870	1773	+ 97	+ 5

#### 5. Genève

Janvier	24	25	58	59	- 1	- 2
Février	38	39	100	103	- 3	- 3
Mars	48	48	167	168	- 1	- 1
Avril	52	52	199	199	0	0
Mai	54	54	238	239	- 1	0
Juin	64	63	284	279	+ 5	+ 2
Juillet	68	67	307	302	+ 5	+ 2
Août	66	65	275	273	+ 2	+ 1
Septembre	58	57	206	205	+ 1	0
Octobre	43	43	135	134	+ 1	+ 1
Novembre	26	26	65	65	0	0
Décembre	18	20	41	45	- 4	- 9
Année	50	50	2075	2071	+ 4	0

6. Neuchâtel

	S calculé %	S enregistré %	E calculé hs	E enregistré hs	Diff. E calc. -E enregistré hs %	
Janvier	18	16	46	41	+ 5	+ 12
Février	32	31	87	84	+ 3	+ 4
Mars	42	43	147	151	- 4	- 3
Avril	44	45	169	172	- 3	- 2
Mai	47	48	204	208	- 4	- 2
Juin	54	56	237	241	- 4	- 2
Juillet	57	58	253	257	- 4	- 2
Août	56	57	231	233	- 2	- 1
Septembre	49	49	176	175	+ 1	+ 1
Octobre	34	32	109	102	+ 7	+ 7
Novembre	20	17	52	46	+ 6	+ 13
Décembre	15	12	37	30	+ 7	+ 23
Année	41	42	1748	1740	+ 8	+0.5

1. Zurich: La moyenne régionale de S + N à partir de laquelle on a calculé la durée d'insolation comprend Bâle, Berne, Neuchâtel, Genève et Lucerne.

Les résultats de E qu'on a obtenus par le calcul sont, sauf pour le mois d'avril, inférieurs aux valeurs enregistrées. Une différence maxima de 12 heures au mois de juin correspond au 5 % du nombre d'heures moyen enregistré pendant ce mois, tandis qu'une différence d'une heure seulement au mois de janvier correspond déjà à 2 %. Ceci provient du fait que dans le Moyen-Pays le nombre d'heures d'insolation est très réduit en hiver, si bien que de très petites différences absolues sont déjà de l'ordre de quelques pour-cents. Pour juger les résultats de la méthode, il sera donc préférable de considérer les différences exprimées en heures et non celles données en pour-cents. Vu les résultats plus bas du calcul, on peut conclure également que les observations de la nébulosité doivent avoir fourni à cette station des résultats plus élevés en moyenne que dans le Moyen-Pays en général et qu'ils sont probablement dus à une observation plus poussée des nuages fins du niveau supérieur.

Cet exemple démontre que la méthode peut fournir des résultats satisfaisants à condition que l'observation de la nébulosité aux stations de référence soit basée sur les mêmes principes qu'à la station de contrôle.

2. Bâle: Tandis qu'à Zurich les résultats du calcul étaient pour ainsi dire uniformément inférieurs à la moyenne des valeurs enregistrées, ceux de Bâle montrent une divergence entre les mois du semestre d'hiver et ceux du semestre d'été: ils sont inférieurs ou égaux aux moyennes enregistrées d'octobre à janvier, mais supérieurs aux moyennes de février à septembre. Le fait peut être expliqué climatologiquement, car au pied nord du Jura, on observe généralement, en automne et en hiver, moins de brouillard élevé ou non et par là davantage de nuages élevés et translucides que dans le Moyen-Pays; ceci peut fort bien provoquer l'augmentation des valeurs de N pendant cette période.

Mais les écarts sont petits et varient jusqu'à 8 heures (juillet) pour chaque mois. Les résultats du contrôle montrent que la méthode pourrait être appliquée sans autre à une station comme Bâle.

3. Lucerne: Ici, les résultats du calcul de la durée d'insolation sont en général supérieurs aux valeurs enregistrées et la différence atteint 11 heures (= 5 %) au

maximum en juin. Durant les autres mois, les écarts sont très faibles (0 à 6 heures) et deux seulement sont inférieurs aux valeurs enregistrées (1 heure en août et en décembre). Les résultats de Lucerne semblent indiquer que l'observation de la nébulosité y est généralement moins poussée, probablement pour les nuages du niveau supérieur.

4. Berne: Les résultats du calcul sont relativement élevés par rapport aux valeurs enregistrées. Ainsi, au mois de mai, l'écart est de 16 heures, ce qui équivaut à 8 %. Il semble donc à première vue que les résultats de l'observation de la nébulosité sont relativement trop bas; pourtant, en comparant les données de la durée possible d'insolation établies à l'aide de l'héliochronomètre à celles qui ont été calculées à partir des enregistrements de l'héliographe par jours sans nuages, on s'aperçoit que ces dernières sont nettement plus basses que les premières (2 à 3 % en moyenne durant toute l'année). Cette différence peut être attribuée soit à un mauvais partage horaire des cartes d'enregistrement, soit à la sensibilité relativement réduite de l'héliographe de cette station, l'appareil ne donnant peut-être plus d'indication quand le soleil est bas (voir chap. II B)). Cet héliographe ayant été remplacé en 1955, il n'est plus possible de vérifier nos suppositions. Il est donc certain que le calcul de la durée d'insolation effective provoque en partie la hausse des résultats obtenus. Malgré cela, les valeurs mensuelles de N semblent être relativement trop basses par rapport au Moyen-Pays.

Les résultats du calcul pour Berne sont donc moins bons qu'aux stations précédentes pour les mois de mars à juillet, tandis que pour les autres mois de l'année ils sont satisfaisants.

5. Genève: Les résultats du calcul sont égaux ou inférieurs aux valeurs enregistrées depuis le mois de novembre jusqu'au mois de mai, tandis que de juin à octobre ils sont légèrement supérieurs à celles-ci. Les écarts restent petits (maximum de 5 heures pour les mois d'été de juin et de juillet) et les résultats peuvent être considérés comme bons. Le contrôle pour Genève montre les très bons résultats que la méthode peut fournir.

6. Neuchâtel: Les résultats du calcul pour cette station montrent que l'amplitude annuelle des valeurs moyennes de la somme S + N est plus grande que pour les autres stations de la région (voir Tableau 21). Il en résulte que les résultats obtenus à l'aide du calcul sont inférieurs aux valeurs enregistrées au printemps et en été, en revanche, supérieures à celles-ci en automne et en hiver. Les valeurs de la somme S + N étant élevées d'avril à septembre et basses pendant le reste de l'année, les écarts des mois de novembre à janvier (période du solstice d'hiver) sont trop grands pour être acceptables; ils atteignent 5, 6 et 7 heures pour des totaux mensuels de 41, 46 et 30 heures. Pour les autres mois de l'année en revanche, ils restent dans des limites satisfaisantes. Il semble qu'ici, comme à Berne, la limite de sensibilité réduite de l'héliographe joue un certain rôle dans la variation annuelle de la somme S + N, notamment en

hiver, lorsque, la brume étant souvent assez conséquente (Neuchâtel note davantage de jours de brouillard que Berne par exemple), l'intensité du rayonnement solaire n'est plus suffisante pour permettre à l'héliographe d'indiquer l'insolation aux heures où le soleil est très bas; il est difficile d'admettre que l'observateur estime le degré de nébulosité différemment suivant la saison.

*Appendice.* Si, à partir des moyennes mensuelles de la somme S + N de toutes les stations du Moyen-Pays et du pied nord du Jura, y compris Lausanne et Hallau, on calcule E, mais sans au préalable retrancher les valeurs de S + N de la station que l'on contrôle, on obtient les résultats représentés dans le tableau 31. La moyenne de S + N ayant légèrement baissé à cause des valeurs plus basses de Lausanne et de Hallau, les résultats de la durée d'insolation calculée s'en ressentent. A Neuchâtel, ils se sont améliorés en automne et en hiver, tandis qu'ils montrent une plus grande divergence au printemps et en été; ils sont devenus nettement meilleurs pour Berne, tandis que les écarts ont augmenté pour Zurich.

Pour Lausanne et pour Hallau, les résultats du calcul sont trop élevés par rapport à ceux des enregistrements et dépassent souvent la limite admissible; ainsi, certains résultats indiquent 20 et davantage d'heures d'écart par rapport aux valeurs enregistrées, une différence qui est évidemment trop grande, même pour un mois d'été; de même, des écarts de 12 (Hallau) et 17 heures (Lausanne) pour le mois de mars, et de 18 heures pour les mois d'avril et de mai (Lausanne) ne peuvent pas être considérés comme satisfaisants.

Ces derniers exemples montrent nettement quelle importance il faut attacher au contrôle des observations de la nébulosité, si l'on veut obtenir de bons résultats en appliquant la méthode exposée. D'autre part, on constate qu'à l'aide de cette méthode, on peut vérifier, pour les stations disposant d'un héliographe, la qualité des résultats de l'observation de la nébulosité, sinon d'une manière absolue du moins de façon relative, un avantage indirect de la méthode développée.

Tableau 31

Résultats du calcul de la durée d'insolation dans le Moyen-Pays. Moyennes régionalées de la somme S + N de toutes les 8 stations et sans retrancher celles de la station de contrôle, 1921—1950.

	1. Zurich				2. Bâle			
	S %	E hs	Diff. E hs	%	S %	E hs	Diff. E hs	%
Janvier	17	42	— 4	— 8	24	62	— 3	— 5
Février	30	79	— 4	— 5	32	87	+ 1	+ 1
Mars	40	137	— 8	— 6	39	138	— 2	— 1
Avril	41	158	— 5	— 3	40	156	— 2	— 1
Mai	43	190	— 11	— 5	42	191	— 4	— 2
Juin	48	214	— 16	— 7	49	228	0	0
Juillet	52	235	— 12	— 5	53	248	+ 3	+ 1
Août	50	210	— 12	— 5	51	218	— 1	0
Septembre	45	159	— 8	— 5	46	166	+ 1	+ 1
Octobre	32	102	— 6	— 6	32	104	— 5	— 5
Novembre	19	49	— 4	— 8	23	61	— 2	— 3
Décembre	12	29	— 3	— 9	19	46	— 4	— 8
Année	38	1604	— 92	— 5	40	1705	— 18	— 1

	3. Lucerne				4. Berne			
	S %	E hs	Diff. E hs	%	S %	E hs	Diff. E hs	%
Janvier	17	40	— 2	— 5	23	60	+ 2	+ 3
Février	30	78	— 1	— 1	35	97	+ 4	+ 4
Mars	40	136	— 3	— 2	43	153	+ 8	+ 6
Avril	42	159	+ 1	+ 1	43	169	+ 5	+ 3
Mai	41	184	— 3	— 2	45	203	+ 7	+ 3
Juin	46	210	+ 2	+ 1	51	234	0	0
Juillet	51	236	+ 1	0	56	260	+ 8	+ 3
Août	47	196	— 9	— 5	54	231	+ 1	0
Septembre	44	154	+ 1	+ 1	49	179	0	0
Octobre	31	98	— 1	— 1	36	119	+ 1	+ 1
Novembre	20	49	— 1	— 2	23	62	0	0
Décembre	13	29	— 3	— 9	18	45	+ 3	+ 7
Année	38	1569	— 18	— 1	42	1812	+ 39	+ 2

	5. Genève				6. Neuchâtel			
	S %	E hs	Diff. E hs	%	S %	E hs	Diff. E hs	%
Janvier	23	55	+ 4	+ 7	17	44	+ 3	+ 7
Février	38	100	+ 3	+ 3	31	84	0	0
Mars	47	163	+ 5	+ 3	41	143	— 8	— 5
Avril	51	194	+ 5	+ 3	43	163	— 9	— 5
Mai	53	233	+ 6	+ 3	46	200	— 8	— 4
Juin	62	275	+ 4	+ 1	53	233	— 8	— 3
Juillet	67	302	0	0	56	249	— 8	— 3
Août	64	267	+ 6	+ 2	54	223	— 10	— 4
Septembre	57	201	+ 4	+ 2	48	171	— 4	— 2
Octobre	41	130	+ 4	+ 3	32	104	+ 2	+ 2
Novembre	25	63	+ 2	+ 3	19	50	+ 4	+ 9
Décembre	18	41	+ 4	+ 9	14	34	+ 4	+ 13
Année	48	2024	+ 47	+ 2	40	1698	— 42	— 2

	7. Hallau				8. Lausanne			
	S %	E hs	Diff. E hs	%	S %	E hs	Diff. E hs	%
Janvier	20	50	+ 5	+ 11	29	72	+ 2	+ 3
Février	32	87	+ 8	+ 10	43	115	+ 3	+ 3
Mars	45	158	+ 12	+ 8	52	181	+ 17	+ 10
Avril	44	167	+ 11	+ 7	52	200	+ 18	+ 10
Mai	48	205	+ 14	+ 7	55	237	+ 18	+ 8
Juin	54	228	+ 15	+ 7	62	274	+ 20	+ 8
Juillet	58	252	+ 21	+ 9	66	293	+ 19	+ 7
Août	55	223	+ 10	+ 5	63	257	+ 11	+ 4
Septembre	50	176	+ 12	+ 7	58	209	+ 16	+ 8
Octobre	35	104	+ 3	+ 3	46	148	+ 12	+ 9
Novembre	21	54	+ 6	+ 12	31	78	+ 6	+ 8
Décembre	15	36	+ 3	+ 9	27	65	+ 5	+ 8
Année	42	1740	+ 120	+ 7	51	2129	+ 147	+ 7

b) *Jura occidental*

Alors que dans le Moyen-Pays, il était possible de s'appuyer sur une moyenne de la somme S + N portant sur 5 stations au moins, pour vérifier la valeur des résultats de la méthode, cela n'est plus guère possible pour les autres régions. Ces dernières sont moins bien pourvues en héliographes et les stations disposant de résultats homogènes de la nébulosité ne sont pas très nombreuses. Il sera donc plus difficile d'obtenir des résultats calculés satisfaisants que dans le Moyen-Pays. Ainsi, dans le Jura occidental, où il n'y a que deux stations observant et enregistrant simultanément la nébulosité et la durée d'insolation, le contrôle des résultats obtenus ne peut être concluant, car pour contrôler les résultats pour La Chaux-de-Fonds ou pour le Mont Soleil, on n'a à disposition que les moyennes mensuelles de la somme S + N de l'autre des deux stations; c'est trop peu, surtout lorsque les moyennes de S + N sont assez différentes (voir Tableau 22).

La moyenne des deux est déjà préférable puisqu'elle réduit les erreurs. Ainsi, dans le tableau 32 les résultats obtenus par le calcul sont beaucoup plus élevés que ceux des enregistrements; il est évident que les valeurs trop basses des résultats de la nébulosité à La Chaux-de-Fonds sont à l'origine de ces grands écarts (voir II A et C).

Tableau 32

Résultats du calcul de la durée d'insolation à La Chaux-de-Fonds à partir des moyennes de la somme S + N au Mont Soleil, 1921—1950.

	S		E		Diff. E	
	calculé %	enregistré %	calculé hs	enregistré hs	hs	%
Janvier	34	31	84	76	+ 8	+ 10
Février	39	35	100	91	+ 9	+ 10
Mars	45	41	149	136	+ 13	+ 10
Avril	42	38	156	141	+ 15	+ 11
Mai	44	39	188	166	+ 22	+ 13
Juin	51	47	223	200	+ 23	+ 11
Juillet	54	49	238	218	+ 20	+ 9
Août	55	50	220	204	+ 16	+ 8
Septembre	52	48	177	164	+ 13	+ 8
Octobre	45	41	136	126	+ 10	+ 8
Novembre	36	33	90	84	+ 6	+ 7
Décembre	31	29	72	66	+ 6	+ 9
Année	45	41	1833	1672	+ 161	+ 10

Les erreurs seraient du même ordre de grandeur si l'on opérait de la même manière pour contrôler les résultats du Mont Soleil, mais elles seraient négatives du fait que les résultats de N sont plus élevés qu'à La Chaux-de-Fonds. La moyenne des valeurs de la somme S + N des deux stations fournit, semble-t-il, des résultats acceptables pour une région, où la nébulosité est sujette à une estimation relativement trop basse (voir II C).

Mais il vaut encore mieux se fier uniquement aux valeurs des enregistrements des deux stations héliographiques et attendre que les résultats de l'observation de la nébulosité soient devenus homogènes pour toutes les stations de la région et comparables à celles du Moyen-Pays.

e) *La vallée du Rhône*

Le même problème se pose pour la vallée du Rhône comme pour le Jura occidental. Les deux stations de Montana et de Leysin ont également des moyennes de S + N assez différentes et les difficultés seraient les mêmes que pour la région précédente, si l'on voulait contrôler les résultats obtenus par le calcul. Pour cela il faut attendre de connaître S + N d'une troisième station, Sion par exemple, dont malheureusement les enregistrements de la durée d'insolation ne sont homogènes que depuis 1947. On pourrait alors écarter Leysin comme base de calcul, station dont les résultats de l'observation de la nébulosité sont relativement trop bas (voir II C), et ne soumettre au contrôle que la région bien définie du Valais.

d) *Hautes vallées des Grisons* (Tableau 33)

Le contrôle repose ici sur trois stations dont S + N sont connus, à savoir Arosa, Davos et Sebuls, tandis que les valeurs de St. Moritz ne s'y prêtent pas aussi bien, vu l'estimation trop basse de la nébulosité. On peut essayer de contrôler les résultats de chacune à partir des

moyennes de S + N des deux autres stations. Mais on constate que, suivant la qualité des résultats de N des différentes stations, le résultat du calcul n'est pas toujours concluant.

Tableau 33

Résultats du calcul de la durée d'insolation dans les hautes vallées des Grisons, 1931—1950.

	1. Davos					
	S calculé %	S enregistré %	E calculé hs	E enregistré hs	Diff. E hs %	
Janvier	46	46	80	80	0	0
Février	48	49	91	94	— 3	— 3
Mars	50	51	139	143	— 4	— 3
Avril	47	48	151	156	— 5	— 3
Mai	43	43	158	158	0	0
Juin	46	48	170	178	— 8	— 4
Juillet	51	53	192	199	— 7	— 4
Août	50	51	176	182	— 6	— 3
Décembre	51	53	151	156	— 5	— 3
Novembre	50	52	117	124	— 7	— 6
Octobre	44	47	79	85	— 6	— 7
Septembre	46	45	74	74	0	0
Année	48	49	1578	1629	— 51	— 3

	2. Arosa					
	S calculé %	S enregistré %	E calculé hs	E enregistré hs	Diff. E hs %	
Janvier	44	48	90	99	— 9	— 9
Février	46	50	100	110	— 10	— 9
Mars	48	51	147	159	— 12	— 8
Avril	44	48	151	168	— 17	— 10
Mai	40	43	162	179	— 17	— 9
Juin	44	48	182	200	— 18	— 9
Juillet	49	52	204	222	— 18	— 8
Août	48	51	181	197	— 16	— 8
Décembre	51	53	162	173	— 11	— 6
Novembre	50	54	130	144	— 14	— 10
Octobre	45	48	95	103	— 8	— 8
Septembre	43	49	79	92	— 13	— 14
Année	46	49	1683	1846	— 163	— 9

1. *Davos*: Les résultats obtenus par le calcul sont tous inférieurs ou égaux aux valeurs enregistrées, ce qui semble dû au fait que la moyenne des résultats de l'observation de la nébulosité des deux stations d'Arosa et de Sebuls est trop basse par rapport à celle de Davos. Les écarts entre les valeurs calculées et enregistrées à Davos restent pourtant dans des limites acceptables et atteignent au maximum 8 heures en juin (sur un total 178 heures). Les 6 heures d'écart en novembre sont les seules valeurs relativement élevées (= 7 %).

2. *Arosa*: Les résultats calculés sont moins satisfaisants que ceux de Davos et restent pour tous les mois inférieurs aux valeurs enregistrées. Il faut en rechercher la cause dans le fait que les moyennes régionales de S + N à partir desquelles on a calculé les valeurs de la durée d'insolation d'Arosa ont été établies avec les données de Davos et de Sebuls; ces dernières donnent pour l'observation de la nébulosité des résultats relativement plus bas que ceux d'Arosa (voir le tableau 24).

De cette façon, les écarts entre les valeurs calculées et enregistrées pour Arosa atteignent et dépassent souvent la limite de tolérance; les déficits mensuels atteignent des valeurs relatives très élevées en hiver et des écarts absolus encore plus importants en été. L'explication de ce fait repose sur la constatation que la méthode d'estimation de la nébulosité à Arosa donne des résultats relativement plus élevés qu'à la plupart des stations;

ce fait est sans doute provoqué par une observation très poussée des nuages fins du niveau supérieur, tandis qu'à Schuls l'estimation de la nébulosité donne des résultats nettement plus bas.

3. *Schuls*: Il est évident que si l'on pouvait calculer la durée d'insolation pour Schuls, à l'aide des moyennes de S + N de Davos et d'Arosa, on obtiendrait les mêmes écarts que pour Arosa, mais avec des signes contraires puisqu'en cette station les valeurs de N sont nettement trop basses comparées à celles de Davos et d'Arosa. Il est impossible de faire le calcul de contrôle pour Schuls parce que la mesure de la durée possible d'insolation n'a pu être faite sur l'emplacement occupé par l'héliographe jusqu'en 1950; celui-ci a été déplacé récemment et son ancien emplacement ne se prête pas à une mesure héliochronométrique.

La grande différence entre les deux stations spécialisées de Davos et d'Arosa et la station ordinaire de Schuls concernant la qualité des observations de la nébulosité est la seule raison qui nous empêche d'obtenir des résultats de contrôle convenables de la durée d'insolation en opérant de la manière comme expliqué ci-dessus. Si l'on ne considérait que les moyennes régionales de la somme S + N des trois stations, sans retrancher les données de la station que l'on veut contrôler, les résultats du calcul seraient bien meilleurs et deviendraient en grande partie satisfaisants même pour Arosa. C'est d'ailleurs cette moyenne qu'il faudrait employer en cas d'application de la méthode pour déterminer la durée d'insolation en des stations voisines ne disposant pas d'un héliographe. D'autre part, les possibilités de cette méthode seront plus assurées dès que l'on sera en mesure de prendre en considération les résultats de l'observation de la nébulosité à St. Moritz qui sont malheureusement insuffisants et beaucoup trop bas depuis 1924.

e) *Pied sud des Alpes* (Tableau 34)

Comme pour les hautes vallées grisonnes, les valeurs de la nébulosité montrent d'assez grandes différences d'une station à l'autre. Elles sont causées par des divergences d'estimation, car d'une part, on a les résultats de l'observatoire tessinois de Locarno-Monti et, d'autre part, ceux des stations climatologiques ordinaires de Lugano et du Monte Brè. Ceci a pour effet de rendre assez inégaux les résultats des valeurs calculées de la durée d'insolation; car, suivant la station que l'on examine, on n'emploie pour calculer les moyennes régionales de la somme S + N que les données des deux autres stations. S'il était possible d'utiliser les moyennes régionales des trois stations, les résultats seraient meilleurs (Tableau 25).

1. *Locarno-Monti*: Les résultats de la durée d'insolation obtenus par le calcul et représentés dans le tableau 34, ne sont pas satisfaisants pour tous les mois de l'année: Ainsi, ils sont nettement trop bas pour tous les mois, particulièrement d'avril à juillet et en automne. Il en résulte, comme nous l'avons déjà vu (voir chapitre II C), que les sommes mensuelles de S + N sont plus élevées

Tableau 34

Résultats du calcul de la durée d'insolation à Locarno et à Lugano, 1937—1950.

	1. Locarno-Monti					
	S	S	E	E	Diff. E	
	calculé %	enregistré %	calculé hs	enregistré hs	hs	%
Janvier	51	55	115	124	— 9	— 7
Février	61	64	151	158	— 7	— 4
Mars	59	61	196	202	— 6	— 3
Avril	55	59	203	218	— 15	— 7
Mai	45	48	182	194	— 12	— 6
Juin	60	66	243	267	— 24	— 9
Juillet	66	70	272	288	— 16	— 6
Août	63	65	247	256	— 9	— 4
Septembre	55	58	191	202	— 11	— 5
Octobre	46	51	137	151	— 14	— 9
Novembre	50	55	117	129	— 12	— 9
Décembre	49	53	104	112	— 8	— 7
Année	56	59	2158	2301	— 143	— 6

	2. Lugano					
	S	S	E	E	Diff. E	
	calculé %	enregistré %	calculé hs	enregistré hs	hs	%
Janvier	48	49	107	108	— 1	— 1
Février	61	59	150	145	+ 5	+ 3
Mars	57	56	188	185	+ 3	+ 2
Avril	56	55	199	195	+ 4	+ 2
Mai	44	45	170	172	— 2	— 1
Juin	63	62	246	244	+ 2	+ 1
Juillet	69	67	272	264	+ 8	+ 3
Août	64	63	241	236	+ 5	+ 2
Septembre	58	55	196	186	+ 10	+ 5
Octobre	47	45	141	134	+ 7	+ 5
Novembre	51	50	118	116	+ 2	+ 2
Décembre	48	47	101	99	+ 2	+ 2
Année	56	55	2129	2084	+ 45	+ 2

à Locarno-Monti, parce que des observateurs spécialisés portent probablement davantage d'attention à l'estimation des nuages fins du niveau supérieur.

2. *Lugano*: Les résultats calculés sont satisfaisants, quoiqu'ils soient, sauf pour les mois de janvier et de mai, supérieurs aux valeurs enregistrées; la raison en est que les sommes S + N de Lugano sont en général inférieures à la moyenne de celles des deux autres stations. Ceci provient, comme on l'a vu, de l'estimation différente des résultats de la nébulosité à l'observatoire de Locarno-Monti.

3. *Monte Brè*: On n'a pas pu calculer les moyennes de la durée d'insolation de cette station parce qu'on ne dispose pas encore de mesures héliochronométriques suffisantes de la durée possible d'insolation. Il ne semble pourtant pas que les résultats d'un tel calcul seraient insuffisants, attendu que pour bien des mois les valeurs de la somme S + N sont très semblables voire identiques à celles de Lugano; d'avril à juin et de novembre à janvier seulement, les résultats de la durée d'insolation calculés seraient encore plus élevés que les valeurs enregistrées, parce que l'estimation de la nébulosité est relativement trop basse pendant ces mois.

En général, on peut prétendre que les résultats obtenus dans cette région sont satisfaisants pour la plupart, malgré la différence de qualité des résultats de l'observation de la nébulosité dans les différentes stations, et il est possible d'y envisager l'application de la nouvelle méthode.

#### IV. Conclusions

Au cours de cette étude, on a pu illustrer à nouveau par de nombreux exemples la relation entre la durée d'insolation et la nébulosité et, il s'est avéré que la marche annuelle de la somme de la durée d'insolation relative  $S$  et de la nébulosité  $N$  a partout la même allure. En revanche, on a constaté que les sommes  $S + N$  des diverses stations d'une même région climatique ne sont pas toujours identiques ou pour le moins très semblables. Les différences de  $S + N$  entre deux stations situées dans des régions climatiques différentes sont normales, tandis qu'elles ne devraient pas exister entre deux stations de la même région.

En comparant séparément les données de la durée d'insolation et de la nébulosité, on a démontré que les résultats de cette dernière provoquaient dans la grande majorité des cas, les écarts de  $\Delta$  d'une station à l'autre, tandis que les valeurs de la durée d'insolation relative sont homogènes, toutes les stations suisses employant le même type d'héliographe (Campbell-Stokes). La surévaluation des cartes d'enregistrement provoque certes une surestimation de la durée d'insolation pour les grandes hauteurs du soleil au-dessus de l'horizon et par nébulosité de convection (été). Ce défaut provient de la construction de l'appareil et est très sensiblement le même pour tous nos héliographes. Les changements du personnel s'occupant du déponnement des cartes n'ont provoqué de variations décelables des valeurs qu'à Neuchâtel et au Sæntis où les cartes sont analysées sur place et non à la Station Centrale de Zurich qui dépouille les cartes d'enregistrement de la grande majorité des autres stations. Il serait évidemment très recommandable que les enregistrements de toutes les stations soient analysés par une même personne sinon dans un même bureau où tout le personnel travaille selon des directives identiques, l'homogénéité des résultats n'en serait que mieux garantie. La limite de sensibilité n'est pas la même pour tous les héliographes, mais elle ne se constate que si l'on compare les divers appareils entre eux; il est donc judicieux, avant de changer un héliographe, de comparer l'ancien au nouvel appareil et d'en déterminer la correction, s'il y a lieu (Zurich 1927, Bâle 1929). Les différences sont d'ailleurs petites si les appareils ne sont pas défectueux (0 à 2 %). Un étalonnage des héliographes serait aussi très utile pour déceler l'erreur de partage des cartes d'enregistrement, bien que ce défaut n'influence pas le calcul de la durée d'insolation relative.

Les erreurs causées par une observation défectueuse de la nébulosité sont souvent bien plus importantes que celles provoquées par les héliographes; la cause est assez simple à expliquer: Ce sont les observateurs et leur manière parfois différente d'apprécier le degré de nébulosité qui sont à l'origine des différences dans les résultats. Bien que ce défaut puisse parfois restreindre l'application de la relation  $S + N = 100\% + \Delta$  en climatologie, c'est-à-dire dans le calcul de la durée d'insolation pour des stations qui ne disposent que des résultats de l'observation de la nébulosité et d'une mesure de la durée d'insolation possible à l'aide d'un héliochronomètre, cette méthode permet tout de même d'obtenir des

valeurs qui, dans la plupart des cas, restent dans des limites d'erreur acceptables. Les résultats mensuels moyens de la nébulosité permettent donc de supposer que dans la majorité des stations il serait possible d'obtenir des résultats approchés de la durée d'insolation réelle.

Toutefois, dans certains cas, il est judicieux et même nécessaire d'homogénéiser auparavant les résultats les plus inégaux des observations de la nébulosité. Ceci est facilement possible, dans la plupart des cas, car dans les séries de résultats de 30 ans que l'on considère généralement dans ce travail, il se trouve presque toujours une période dont les résultats sont suffisamment homogènes par rapport à ceux des stations voisines pour permettre une réduction assez sûre des moyennes défectueuses. Ainsi, il suffit d'appliquer le procédé des différences entre les valeurs homogènes d'une période de la station en question et celles de une ou de deux stations situées dans la même région et se rapportant à la même période d'observation; leur différence servira alors de correction. On obtiendra des valeurs homogènes de la station peu sûre, en corrigeant, à l'aide de la différence calculée, les moyennes de 30 années des stations de comparaison qui ont fourni pendant toute la période des résultats probants. De cette manière, on calcule par exemple, les différences mensuelles entre les valeurs de Berne et de Fribourg (moyennes 1921 à 1950 peu sûres) pour la période allant de 1928 à 1945 pendant laquelle les valeurs de Fribourg et de Berne semblent être les plus homogènes; ensuite, on corrigera les valeurs moyennes de Berne pour la période allant de 1921 à 1950 avec les différences qui ont été calculées précédemment et l'on obtiendra des données homogènes pour Fribourg.

L'application de la méthode fournit les meilleurs résultats dans le Moyen-Pays; dans les hautes vallées des Grisons et dans le canton du Tessin, ils sont encore satisfaisants, bien que les données de base (résultats de l'estimation de la nébulosité) ne soient pas homogènes pour toutes les stations.

Si l'on veut obtenir de bons résultats, il est important qu'un groupe de stations, devant fournir des moyennes mensuelles régionales de la somme  $S + N$ , comprenne de préférence plus de deux stations. Plus celles-ci sont nombreuses dans une région climatique, plus les chances sont grandes d'obtenir des valeurs utiles, tandis que dans le cas contraire, à moins d'avoir dans les deux stations des résultats homogènes ou du moins opposés et susceptibles de fournir une bonne moyenne, les chances seront plus faibles (Jura occidental, vallée du Rhône).

Les erreurs qui pourraient se glisser dans les résultats finaux à la suite de différences orographiques de l'horizon entre les diverses stations, ne semble avoir de conséquences appréciables que dans des unités géographiques restreintes ayant un horizon très découpé.

Dès que l'homogénéité des résultats de l'estimation de la nébulosité sera garantie dans la plus grande majorité des stations climatologiques où on l'observe, l'application de la méthode pourra se généraliser. Il faut toute-

fois se rendre compte qu'en calculant la durée d'insolation à partir de moyennes régionales de la somme  $S + N$  qui ne sont pas homogènes, on risque d'obtenir des résultats peu satisfaisants pour des stations où l'on estime correctement la nébulosité, parce que le calcul est basé sur des données moins correctes. On a ainsi pu constater que parfois des stations, où l'observation de la nébulosité en général et des nuages fins du niveau supérieur en particulier était la plus poussée et la plus attentive, se prêtaient le moins à l'application de la méthode (Locarno-Monti, Arosa); cette source d'erreur peut être évitée s'il est possible de disposer de résultats de l'observation de la nébulosité obtenus à partir de méthodes d'estimation semblables sinon identiques. Par là, la somme  $S + N$  sera également homogène partout où l'on enregistre la durée d'insolation et où l'on observe la nébulosité simultanément. Par curiosité, on peut remarquer que notre méthode de détermination de la durée d'insolation exige avant tout l'homogénéité des observations de la nébulosité pour toutes les stations en cause, même si elles sont le résultat d'une méthode d'estimation incorrecte. Cette constatation ne devra pourtant pas nous empêcher de faire notre possible pour exiger des résultats de l'observation de la nébulosité qui correspondent aux méthodes d'estimation recommandées par les conventions internationales.

La relation entre la durée d'insolation et la nébulosité est soumise à une dispersion assez forte, si bien que les moyennes mensuelles de la somme  $S + N$  de-

vront toujours être calculées à partir de données portant sur un certain nombre d'années. D'autre part, il ne sera pas indiqué de calculer à l'aide de notre méthode des valeurs journalières de la durée d'insolation. Le mois est la plus petite unité de temps pour laquelle il est encore possible de calculer des sommes moyennes satisfaisantes de la durée d'insolation, connaissant le degré de nébulosité moyen d'un lieu et sa durée d'insolation possible mesurée avec un héliochronomètre.

Au cours de cette étude, il n'a pas été possible d'aboutir à un résultat entièrement positif, mais on connaît du moins les causes essentielles qui nous ont empêché de l'atteindre et qui sont dues surtout à la qualité des observations de la nébulosité. Ce résultat secondaire est tout de même intéressant et sa connaissance pourra peut-être conduire un jour à améliorer les observations de la nébulosité.

Qu'il nous soit permis, pour terminer, de remercier tout particulièrement M. W. Mörkofer, Docteur ès Sciences, Docent honoraire de l'Université de Bâle et directeur de l'Observatoire Physico-Météorologique de Davos, de son aide et de la grande attention qu'il a portée à l'exécution de ce travail. Nous remercions également M. M. Schüpp, Docteur ès Sciences, et M. H. Uttinger de la Station Centrale Suisse de Météorologie de tous les conseils et les renseignements qu'ils ont eus la bonté de nous communiquer, ainsi que M. le Professeur E. Guyot de l'Université de Neuchâtel qui a eu l'obligeance de recevoir avec nous le texte de ce travail.

Bibliographie

1. Bider, M. — Vergleich der Registrierungen des Maurerschen Heliographen und des Campbell-Stokesschen Autographen. Actes Soc. Hêlv. Sc. Nat. Coire, p. 135 (1938).
2. Brazier, C. E. — Etudes actinométriques d'après les documents recueillis à l'observatoire du Parc Saint-Maur (2<sup>e</sup> partie). Ann. Inst. Phys. Globe, Paris, 19, p. 79 (1941).
3. Brooks, C. E. P. — The relation between the duration of bright sunshine registered by a Campbell-Stokes sunshine recorder and the estimated amount of cloud. Meteor. Off. Prof. Notes, no. 53, London (1929).
4. Conrad, V. — Handbuch der Klimatologie von W. Köppen und R. Geiger, I B, p. 449.
5. Conrad, V. — Ermittlung der effektiv möglichen Sonnenscheindauer bei Horizontüberhöhungen. Gerl. Beitr. Geoph. 21, p. 366 (1929).
6. Conrad, V. — Zur Darstellung der Sonnenscheinverhältnisse eines Gebirgslandes. Gerl. Beitr. Geoph. 50, p. 455 (1937).
7. Goldberg, J. — Sonnenscheindauer, Bewölkungsgrad und Zahl der Sonnenscheinstunden. Meteor. Z. 50, p. 109 (1933).
8. Guyot, E. — Variations séculaires des éléments météorologiques à Neuchâtel. Bull. Soc. Nat. Neuchâtel, 57, p. 36 (1932).
9. Hann, J. v. und Knoch, K. — Handbuch der Klimatologie, 4. Aufl., p. 266.
10. Hann, J. v. — Schlechte Mittel der Bewölkung als Folge eines mangelhaften Beschlusses der Meteorologen-Kongresse. Meteor. Z. 33, p. 131 (1916).
11. Hann, J. v. — Über die scheinbare Zunahme der Bewölkung in Wien. Meteor. Z. 34, p. 369 (1917).
12. Hann, J. v. — Schätzung der Bewölkung und Bewölkungsmittel. Meteor. Z. 36, p. 276 (1919).
13. Johansson, O. — Die internationale Vorschrift für die Schätzung der Bewölkung. Meteor. Z. 36, p. 58 (1919).
14. Kleinschmidt, E. — Handbuch der meteorologischen Instrumente. Berlin (1935).
15. Kleinschmidt, E. — Bemerkungen zur Messung der Sonnenscheindauer. Gerl. Beitr. Geoph. 17, p. 395 (1927).
16. König, H. — Dauer des Sonnenscheins in Europa. Abh. Leop. Carol. Deutsch. Akademie Halle, 67, Nr. 3 (1896).
17. Linkc, E. — Über die Bestimmung der relativen Sonnenscheindauer an Gebirgsstationen. Meteor. Z. Biokl. Beibl. 3, p. 179 (1936).
18. Lunclund, H. — Über die Sonnenscheindauer in Finnland. Soc. Sc. Fenn. Comment. Phys. Math. XI. 8. (1942).
19. Maurer, J. — Verschlechterung der Bewölkungsziffern in den letzten Dezennien. Meteor. Z. 33, p. 276 (1916).
20. Maurer, J. — Über die Mängel unserer Glaskugel-Sonnenschein-Autographen. Meteor. Z. 26, p. 461 (1909).
21. Maurer, J. — Aus fünfundzwanzigjährigen Aufzeichnungen der Sonnenscheindauer in der Schweiz. Meteor. Z. 28, p. 193 (1911).
22. Maurer, J. — Einige Resultate des Sonnenschein-Chronographen, verglichen mit dem Glaskugel-Heliographen. Meteor. Z. 37, p. 88 (1920).
23. Mercanton, P. L. — Zur Frage der Messung der möglichen Sonnenscheindauer eines Ortes. Meteor. Z. 51, p. 62 (1934).
24. Mörlikofer, W. und Nagel, E. — Über die Beziehung zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung. Actes Soc. Helv. Sc. Nat. Berne, p. 112 (1952).
25. Mörlikofer, W. und Perl, G. — On the necessity of estimating cloudiness with and without high clouds. Circ. CIMO Toronto 1947. Doc. 34.
26. Perl, G. — Über Bewölkungsschätzung mit und ohne Berücksichtigung der hohen Wolken. Meteor. Z. 61, p. 235 (1944).
27. Perl, G. — Über die Beziehung zwischen Tagesmitteln der Bewölkung und relativen Sonnenscheindauer in drei verschiedenen Klimagebieten der Schweiz. Arch. Met. Geoph. Biokl. Serie B. 1, p. 75 (1949).
28. Schmidt, W. — Der Tagbogenmesser. Meteor. Z. 50, p. 328 (1933).
29. Schüepp, M. — Bestimmung der möglichen Sonnenscheindauer mit dem Wild-Theodoliten T<sub>12</sub>. Annalen Schw. Meteor. Zentralanst. Anhang (1951).
30. Steinhäuser, F. — Über die Beziehungen zwischen Sonnenscheinregistrierungen und Bewölkungsschätzungen. Wetter und Leben, 6, p. 139 (1954).
31. Strub, W. — Über die Mängel der Campbell-Stokesschen Sonnenscheinautographen. Meteor. Z. 28, p. 175 (1911).
32. Thams, J. C. und Zenone, E. — Über Sonnenscheindauer und Globalstrahlung auf der Magadinoebene. Landwirtsch. Jahrb. Schweiz, 66, p. 119 (1952).
33. Thams, J. C. — Zur Bestimmung der Sonnenscheindauer in einem stark kupierten Gelände. Arch. Met. Geoph. Biokl. Serie B, 6, p. 417 (1955).
34. Wagner, A. — Beziehungen zwischen Sonnenscheindauer und Bewölkung in Wien. Meteor. Z. 44, p. 161 (1927).

Table des Matières

		Pages
I.	Le problème . . . . .	1— 2
II.	Les éléments de la méthode . . . . .	2—13
A.	La somme des moyennes de la durée d'insolation relative et de la nébulosité en Suisse . . . . .	2— 6
B.	L'enregistrement de la durée d'insolation en Suisse . . . . .	6— 8
C.	Les résultats de l'observation du degré de nébulosité en Suisse . . . . .	8—13
III.	Méthode pour calculer la durée d'insolation moyenne à partir des observations de la nébulosité . . . . .	14—23
A.	Déduction de la méthode . . . . .	14—18
B.	Contrôle de la méthode . . . . .	18—23
IV.	Conclusions . . . . .	24—25
	Bibliographie . . . . .	26