

**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 15 (1933)

**Artikel:** Sondages aérologiques et vent au gradient en Suisse [suite]  
**Autor:** Berger, Pierre  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740577>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 19.02.2026

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

# SONDAGES AÉROLOGIQUES

ET

## VENT AU GRADIENT EN SUISSE<sup>1</sup>

PAR

**Pierre BERGER**

(Avec 54 figures.)

*(suite)*

---

### 9. — VÉRIFICATIONS ET CONCLUSIONS.

Après avoir étudié:

- 1<sup>o</sup> la question des sondages par ballons-pilotes, suivis à l'aide d'un seul théodolite,
- 2<sup>o</sup> l'influence orographique de sommets, pourtant bien dégagés, sur les régimes locaux des vents,
- 3<sup>o</sup> le vent théorique au gradient,

il convient de vérifier si les conclusions du n° 8 sont confirmées ou non par les données expérimentales actuellement à disposition.

Repronons ces différents points dans le même ordre que précédemment. Pour justifier la comparaison directe des obser-

<sup>1</sup> Etude faite sous la direction de M. le Prof. G. TIERCY, directeur de l'Observatoire de Genève.

vations il n'est pas inutile de rappeler qu'Exner<sup>1</sup>, en faisant les hypothèses suivantes:

- 1<sup>o</sup> pas de glissements,
- 2<sup>o</sup> mouvement stationnaire,
- 3<sup>o</sup> densité constante dans les couches inférieures,
- 4<sup>o</sup> même gradient de pression à toutes les altitudes,

arrive aux conclusions théoriques que la vitesse du vent et l'angle de déviation  $\varepsilon$  (angle compris entre la normale à l'isobare et la tangente à la trajectoire) évoluent comme suit:

Altitude en mètres	Vitesse en m/sec.	Angle de déviation $\varepsilon$
5	1,49	46° 23'
10	2,9	48° 02'
20	5,72	50° 58'
50	11,68	59° 06'
100	17,86	70° 25'
200	21,37	84° 53'
400	20,10	90° 42'
600	19,97	89° 59'
1000	20,0	90° 00'

Berson<sup>2</sup> arrive à des conclusions semblables, basées sur les résultats (de 2 ans) des ascensions de cerfs-volants exécutées à Berlin. Voici quelques valeurs:

Altitude en m	200	500	1000	1500	2000	2500	3000
Rotation moy. du vent. .	8°,1	17°,4	23°,5	26°,7	29°,1	31°,4	32°,9

Ainsi, d'après Exner et Berson, à partir de 400 m ou 500 m, le vent ne subirait plus de rotation importante. Cette remarque annule par avance l'hypothèse que l'on pourrait être tenté de faire en attribuant la différence des régimes des vents au Righi,

<sup>1</sup> Zur Kenntnis der untersten Winde über Land u. Wasser u. der durch sie erzeugten Meeresströmungen. *Annalen der Hydro- u. Marit. Meteor.*, 1912.

<sup>2</sup> Cité par HANN, *Lehrbuch der Meteor.*, III. Auflage, Seite 529.

Pilate et Saentis à une rotation des courants aériens en fonction de l'altitude.

*A. Sondages et observations sur les sommets.*

Dans les différents cas que nous examinerons plus loin, les hypothèses formulées par Exner ne sont pas toujours entièrement remplies. Nous négligerons cependant l'influence possible d'une rotation. L'erreur commise en faisant cette simplification est peu de chose, comparée aux écarts importants mis en évidence dans les tables suivantes.

Dans ces dernières, les vents au Righi, au Pilate et au Saentis sont comparés aux sondages à un théodolite de Zurich en 1927 et 1928, ou à ceux de Dubendorf de 1929-1930.

Pour faciliter l'interprétation des résultats nous diviserons les observations d'après les vitesses des vents en atmosphère libre à 2500 m. Nous formerons un premier groupe d'observations pour les vents inférieurs à 5 m/sec; un deuxième groupe pour les vents de 5 à 10 m/sec; un troisième groupe pour les vents de 10 à 15 m/sec; un quatrième groupe pour les vents supérieurs à 15 m/sec.

Les observations du Righi et du Pilate sont celles de 7 h. 30; la rose des vents qui a servi à déterminer la direction du courant aérien est à huit directions; la vitesse du vent est estimée, et exprimée par l'échelle de Beaufort à 6 degrés. Nous admettrons les valeurs correspondantes suivantes:

Degrés de l'échelle de Beaufort . .	0	1	2	3	4	5
Vitesse en m/sec .	0	2	6	9	13	18

Au Saentis, la direction du vent est exprimée à l'aide de la rose à 16 directions; la vitesse indiquée du vent correspond à sa valeur moyenne et horaire. L'heure est celle où le ballon aurait atteint l'altitude de 2500 m aux environs de Zurich ou Dubendorf. Le début des observations aérologiques ou météorologiques du Saentis, dont les valeurs moyennes horaires sont indiquées, coïncide avec la 30<sup>me</sup> minute de chaque heure légale.

La vitesse du vent déduite des sondages effectués par ballons-pilotes est donnée en m/sec et correspond à l'hypothèse que la vitesse ascensionnelle est constante; la direction est donnée à l'aide de la rose des vents divisée en 360 degrés.

Les observations à comparer ne sont malheureusement pas homogènes; mais, comme nous le verrons plus loin, il ne s'agit pas de nuances, mais d'écart importants. Le défaut d'homogénéité des observations est donc moins grave et les résultats permettent de tirer quelques conclusions. Voici la signification des chiffres des différentes colonnes des tabelles suivantes:

Colonne « date »: les premiers chiffres arabes indiquent le jour, les chiffres romains indiquent le mois et les derniers chiffres arabes indiquent l'année.

Colonne « heure »: l'heure indiquée est celle du début du sondage.

Colonne « v. a. »: la vitesse ascensionnelle *présumée* du ballon-pilote est exprimée en m/min.

4<sup>me</sup>, 6<sup>me</sup> et 8<sup>me</sup> col.: vent en montagne.

5<sup>me</sup>, 7<sup>me</sup> et 9<sup>me</sup> col.: vent *présumé* en atmosphère libre aux altitudes indiquées.

4<sup>me</sup>, 5<sup>me</sup>, 6<sup>me</sup>, 7<sup>me</sup>, 8<sup>me</sup> et 9<sup>me</sup> col.: la direction du vent est indiquée en degrés (rose des vents divisée en 360°). Elle occupe la place du numérateur; le dénominateur représente la force du vent en m/sec.

Colonne « rem. »: les chiffres de cette dernière colonne renvoient aux notes au bas de la page.

Dans les remarques, les altitudes se rapportent à des indications simultanées en pleine atmosphère et les heures à des observations au Saentis.

*Premier groupe, vent inférieur à 5 m/sec.*

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
13.VI.1927	0815	200	270/0	290/2	180/2	290/4	250/6,7	290/3	1
16	0920	200	135/6	170/3	135/2	170/4	180/4,5	230/4,5	2
17	0758	200	90/0	220/6	225/0	210/4,5	180/4	190/4	
21	0804	200	315/0	270/2	180/2	270/6	250/8,4	260/4,5	3

1. Dir. const. de 01 h. 30 à 23 h. 30; de 08 h. 30 à 09 h. 30: 3,3 m/sec.
2. A 2200 m: vent du sud; vent de 225° jusqu'à 08 h. 30, puis du sud.
3. De 06 h. 30 à 07 h. 30: 6,7 m/sec; de 08 h. 30 à 09 h. 30: 5 m/sec.; à 2350 m 8 m/sec.

Premier groupe, vent inférieur à 5 m/sec. (suite).

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
5.VIII	0815	200	315/0	260/7	180/2	260/10	270/7,5	260/5	4
6	0755	200	270/0	130/1	180/2	230/2	250/3	220/2	5
22.VI.1928	0810	200	270/0	calme	—	300/2	250/7,2	300/4	6
28	0848	200	315/0	240/2	360/2	240/3	250/2	300/5	7
29	0919	200	135/0	240/4	180/2	270/4	225/5	270/5	
10.VII	0828	200	135/0	360/2	315/2	360/1	250/1	320/1	8
11	0805	200	90/6	80/6	45/2	70/2	190/1	70/1	
12	0829	200	270/0	220/3	180/2	260/3	250/4	260/5	
13	0800	200	270/0	270/3	180/2	270/3	250/2	270/2	
16	0810	200	270/6	250/3	180/2	250/6	250/1	250/1	
17	0815	200	90/0	60/1	300/2	60/3	20/2	100/3	9
20	0820	200	270/0	320/2	180/2	270/3	250/5,5	270/3	10
23	0900	150	315/2	360/2	180/2	360/1	250/2	300/3	
7.VIII	0820	150	90/0	40/3	180/2	300/4	70/3	300/4	11
18	0800	200	90/2	300/1	180/2	300/1	225/3	290/1	12
23	0825	200	315/6	260/9	180/2	260/8	250/8	310/4	13
24	0805	200	135/0	180/4	180/2	180/2	200/2	230/4	14
8.IX	0845	150	45/2	90/6	360/2	90/4	200/1	120/1	
10	0815	150	270/6	80/4	180/2	80/5	225/4	100/4	15
21	0815	150	225/0	80/4	180/0	80/6	225/2	240/2	16
24	0820	200	225/6	300/4	180/2	330/4	225/3	330/4	17
26	0825	150	360/0	110/6	135/0	150/3	180/2	270/4	18
27	0820	200	270/0	270/3	135/2	260/5	225/5	260/3	19
16.X	1525	150	—	—	—	—	250/3	40/3	20
24	1108	150	—	—	—	—	200/6	270/5	21

4. De 1900 à 2200 m: 9 m/sec.
5. A 2400 m: 3 m/sec, direction très variable de 2000 m (150°) à 3000 m( 290°).
6. De 08 h. 30 à 09 h. 30: 6 m/sec; à 2300 m: 6 m/sec; en dessus de 3200 m: 6 m/sec et plus.
7. A 1900 m: 2 m/sec; 240°.
8. Dir. const. de 00 h. 30 à 24 h. 30. En dessous de 2300 m et en dessus de 3200 m le vent tourne au N.
9. Dès 09 h. 30: 45°.
10. Dir. const. de 00 h. 30 à 10 h. 30; dès 10 h. 30: 3,3 m/sec; à 2300 m: 4,5 m/sec.
11. A 1750 m: 70° et 3 m/sec.
12. Dès 3000 m vent supérieur à 3 m/sec.
13. Dès 09 h. 30: 5,5 m/sec; dès 10 h. 30: 4,5 m/sec; à 2750 m: 8 m/sec.
14. A 2200 m: 200° et 2,5 m/sec.
15. Pas d'explication plausible.
16. A 1900 m: 2 m/sec, 225°.
17. Jusqu'à 07 h. 30: 250°.
18. A 2200 m: 180° et 2,5 m/sec; jusqu'à 08 h. 30: 250°.
19. Jusqu'à 08 h. 30: 250°, 6,7 m/sec; à 2000 m: 260°, 6 m/sec.
20. En dessous de 2000 m: 250°, 2 m/sec.
21. A 2300 m: 6 m/sec, 250°.

*Premier groupe, vent inférieur à 5 m/sec. (suite).*

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Rigi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
13.V.1929	0750	150	315/2	200/3	360/2	270/4	290/4	310/4	
14	0750	150	135/0	180/4	180/0	250/3	200/1	280/0	
21	0750	150	90/2	90/0	180/2	60/3	290/5	60/5	22
22	0800	150	90/0	—	135/0	30/3	250/1	20/2	23
23	0750	150	270/0	200/1	180/2	220/4	250/6	280/4	24
24	0810	150	45/2	300/2	360/6	230/2	250/0	340/3	25
25	0755	150	90/0	70/7	45/2	70/6	70/5	110/3	26
12.VI	0850	150	135/6	170/3	180/2	140/4	250/3	230/2	27
17	0750	150	90/0	70/1	135/2	340/2	250/1	280/2	28
18	0830	150	90/2	60/2	180/2	300/4	140/0	270/5	29
27	0750	150	90/0	360/2	360/2	360/2	270/1	360/4	30
13.VII	0755	150	90/0	70/4	360/2	70/2	90/3	70/3	
20	0705	150	270/0	310/5	180/2	300/6	250/4,5	280/4,5	
26	0755	150	270/9	260/6	180/2	260/6	180/2	260/5	31
28.VIII	0800	200	315/2	—	180/2	160/3	200/1	280/3	32
5.IX	0820	200	315/2	300/4	360/2	300/4	270/5	320/4	33
17.V.1930	0800	100	135/2	140/2	90/0	330/3	360/1	360/3	
20	0800	100	135/2	230/2	45/0	270/3	250/0	350/3	
6.VI	0800	200	180/0	230/7	180/2	230/4	200/2	230/3	
11	0800	200	90/2	150/4	225/2	190/0	70/3	190/0	34
18	0730	200	180/2	200/5	135/2	190/4	180/0	160/3	35
19	0730	200	45/0	170/1	360/2	150/3	45/2	60/2	
21	0820	200	145/0	360/4	360/2	360/4	225/4	360/1	36
30	0750	150	45/2	290/3	180/2	290/2	225/5	290/2	37
26.VII	0730	150	270/0	300/4	180/2	300/3	270/2	300/4	38
29.VIII	0755	100	270/2	230/1	180/2	250/2	135/2	250/3	38
13.X	0840	150	315/0	50/3	180/0	50/1	315/2	20/4	38

22. La direction semble très douteuse.  
 23. La direction semble très douteuse.  
 24. Avant 07 h. 30: 5 m/sec, 250°; avant 06 h. 30: 0 m/sec, 250°.  
 25. Direction très variable de 2200 m (230°), [à 2500 m: 340°]; à 3700 m (210°).  
 26. A 2200 m: 70°, 7 m/sec.  
 27. A 2400 m: 3 m/sec, 200°.  
 28. A 2450 m: 2 m/sec, 250°.  
 29. Remous horizontal probable.  
 30. Dès 08 h. 30: 250°, 2 m/sec.  
 31. A 2450 m: 270°; à 2600 m: 235°, fœhn régional ?  
 32. A 2400 m: 200°; à 2550 m: 310°.  
 33. Dès 08 h. 30: 4 m/sec; à 2300 m: 300°.  
 34. Jusqu'à 07 h. 30: 70°, 0 m/sec.  
 35. A 2450 m: 180°.  
 36. Dès 10 h. 30: 45°, 1 m/sec.  
 37. Dès 08 h. 30: 225°, 2,5 m/sec; à 2600 m: 3 m/sec.  
 38. Les observations du Saentis sont celles de 07 h. 30.

## Deuxième groupe, vent de 5 à 10 m/sec.

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
14.VI.1927	0800	200	135/0	210/4	180/2	210/5	180/3	250/9	39
5.VII	0800	200	270/0	190/2	180/2	230/3	250/5	220/6,5	40
6	0728	200	135/2	120/4,5	180/2	120/5,5	135/1,5	120/7	41
18	0800	200	270/0	250/6	225/2	240/9	250/5	230/8	42
19	0800	200	315/2	220/8	180/6	230/8	250/13	250/8	43
20	0754	200	270/0	240/6	225/2	250/8	250/6	250/8,5	
21	0800	200	270/0	240/8	180/6	225/8	250/4,5	225/9	44
1.VIII	0805	200	270/0	250/4	180/2	260/6,5	200/5	240/6	45
18	0810	200	180/13	200/7,5	180/2	170/7	180/7	190/6,5	46
30	0835	200	315/0	70/5	45/2	70/5	45/4,5	50/6	
1.IX	0815	200	135/0	190/2	180/2	140/6	135/2	80/6	47
2	0812	200	90/0	30/5	45/2	230/3	250/1	260/8	48
3	0817	200	135/0	210/4	180/2	230/5	180/1	260/7,5	49
6	0847	200	225/0	290/5	180/2	240/5	250/3	260/6	50
5.X	0830	200	90/0	10/5	360/2	360/6	290/4,5	360/6,5	51
23.VI.1928	0815	200	270/5	260/13	180/2	260/10	250/13	260/9	52
2.VII	0828	200	135/0	300/1	180/2	230/8	200/3	230/9	53
3	0810	200	270/2	260/7	180/2	250/8	200/5	250/7	54
9	0841	200	90/0	60/5	225/2	330/3	250/6	230/8	55
14	0810	200	45/6	350/5	360/2	350/8	45/4	350/8	56
26	0840	150	270/2	270/5	180/2	270/6	250/9	290/9	
6.VIII	0825	150	315/0	350/5	360/2	330/6	270/4	350/6	57
31	0810	200	315/0	240/4	360/0	280/4	180/1	290/5	58

39. A 1700 m: 180°, 3,5 m/sec.

40. Dès 08 h. 30: 225°, 4 m/sec.

41. Dès 08 h. 30: 135°, 4 m/sec.

42. Dès 08 h. 30: 225°, 6 m/sec.

43. A 1950 m: 230°, 11 m/sec. Dès 08 h. 30: 12 m/sec.

44. Dès 08 h. 30: 5,5 m/sec.; à 2400 m: 7,5 m/sec.

45. Jusqu'à 06 h. 30: 225°, 8 m/sec.

46. A 07 h. 30: 6,5 m/sec.

47. A 2100 m: 135°, 6 m/sec.

48. En dessous de 2700 m et en dessous de 2200 m: vent inférieur à 4 m/sec.

49. A 1600 m: 180°, 4,5 m/sec.

50. De 07 h. 30 à 08 h. 30: 250°, 5,5 m/sec.; de 08 h. 30 à 09 h. 30: 250°, 3 m/sec.

51. A 2350 m: 5 m/sec.

52. Dès 08 h. 30: 250°, 11 m/sec; à 2900 m: 260°, 13 m/sec.; entre 1800 m et 1000 m, vent supérieur à 13 m/sec.

53. A 1900 m: 230°, 3 m/sec.

54. Jusqu'à 07 h. 30, 225°.

55. A 2400 m: 6 m/sec; à 2250 m: 250°, 4 m/sec.

56. Dès 08 h. 30: 25°, 4 m/sec.

57. Pas d'explication plausible.

58. A 1900 m: 240°, 4 m/sec.

*Deuxième groupe, vent de 5 à 10 m/sec. (suite).*

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Rigi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
4.IX	0830	200	90/0	120/4	45/2	100/4	70/5	70/5	
5	0840	200	270/6	270/9	180/2	270/6	200/4	260/6	59
6	0816	150	270/7	260/6	225/2	260/6	225/6	260/7	
29	0820	150	270/2	260/5	135/2	260/8	250/8	260/6	60
2.X	1015	150	—	—	—	—	270/6	270/8	
3	0945	150	—	—	—	—	250/6	340/4	61
5	1655	150	—	—	—	—	290/2	310/3	
7	0900	150	—	—	—	—	360/3	310/5	62
8	1055	150	—	—	—	—	290/1	80/2	63
9	0810	150	270/2	270/11	180/6	270/11	250/10	250/8	64
26	1035	150	—	—	—	—	180/11	200/9	
8.V.1929	0820	150	360/0	130/5	360/2	140/4	250/8	170/6	65
29	0753	150	270/2	290/6	135/2	290/7	250/6	290/6	
31	1150	150	—	—	—	—	20/4	290/5	66
29.VI	0750	150	270/1	270/5	180/2	290/6	250/6	290/8	
12.VII	0803	150	90/2	80/6	45/2	80/8	360/4	70/8	
17	0755	150	270/2	280/4	180/2	280/5	250/2,5	280/6	
22	0755	150	270/0	280/5	180/2	270/5	250/3	270/6	67
15.VIII	0755	200	270/0	270/3	180/2	270/4	200/5	260/6	
16	0755	200	315/0	300/3	180/2	260/4	180/6	250/8	
17	0755	200	270/6	290/20	225/6	260/15	200/7	210/5	68
24	0800	200	45/0	—	45/2	—	45/7	70/9	
30	0800	200	315/0	270/10	180/2	270/7	200/4	270/8	
26.IX	1220	200	—	—	—	—	45/4	70/8	
16.V.1930	0800	100	270/0	330/4	360/0	330/4	250/5,5	330/6	
28	0800	150	180/2	230/6	225/0	200/8	250/10	240/9	69
4.VI	0800	125	90/0	280/3	225/2	260/5	225/2	260/9	
24	0800	150	90/0	260/9	180/2	250/6	180/3	190/8	
26	0730	200	180/6	180/3	180/2	220/5	180/7	250/5	70
28	0730	150	270/0	250/7	180/2	260/8	225/6	260/10	

- 59. A 2750 m: 200°, 6 m/sec.
- 60. A 2200 m: 260°, 8 m/sec.
- 61. A 1800 m: 250°, 3 m/sec.
- 62. A 2300 m: 360°, 6 m/sec.
- 63. Direction douteuse du vent du sondage.
- 64. A 2100 m: 260°, 10 m/sec.
- 65. Avant 08 h. 30: 3 m/sec; à 2700 m: 200°, 6 m/sec.
- 66. A 2700 m: 310°, 4,5 m/sec.
- 67. Jusqu'à 07 h. 30: 250°, 6 m/sec.
- 68. Avant 07 h. 30: 200°, 4 m/sec; après 08 h. 30: 180°, 3 m/sec.
- 69. A 2750 m: 250°, 11 m/sec.
- 70. Jusqu'à 07 h. 30: 200°, 6 m/sec; à 1900 m: 180°, 3,5 m/sec.

*Deuxième groupe, vent de 5 à 10 m/sec. (suite).*

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
27.VII	0700	150	270/9	250/9	225/6	250/14	250/9	250/6	71
2.VIII	0800	100	180/2	290/3	180/2	250/7	225/6	240/10	71
4.IX	0755	100	270/0	270/2	135/2	310/4	250/6	320/6	71
19	0815	200	270/2	270/2	180/6	250/11	250/13	300/5	71
26	0805	150	315/0	250/6	180/0	250/7	250/6	250/9	71

71. Les observations du Saentis sont celles de 07 h. 30.

*Troisième groupe, vent de 10 à 15 m/sec.*

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
15.VI.1927	0825	200	270/0	240/9	180/2	240/10	225/3,3	220/13	72
29	0840	200	225/0	240/8	180/2	240/11	180/4,5	240/14,5	73
30	0800	200	135/2	240/2	180/2	260/8	180/3,6	260/12	74
4.VII	0800	200	270/2	260/14	180/6	250/15	250/11	250/13	
31.VIII	0834	200	90/13	80/12	45/6	90/11	110/6,4	100/12	
21.IX	0815	200	270/9	270/16	180/6	260/14	250/12	260/13	
6.X	0830	200	45/0	350/6	360/0	20/7	20/9	20/13	
4.VI.1928	0758	200	270/0	260/9	135/2	250/11	250/11	250/12	
25	0806	200	270/2	260/7	180/2	260/13	270/11	260/13	
26	0807	200	270/9	250/13	225/6	250/18	225/6	250/10	
5.VII	0840	200	250/6	250/17	225/6	250/13	225/13	250/12	
6	0810	200	315/2	250/15	180/6	240/18	250/3	220/13	75
24	0850	150	270/6	270/8	180/1	270/9	225/9	270/11	
30	0821	150	270/6	250/5	180/2	250/10	200/4	250/12	76
1.VIII	0820	150	270/9	250/9	180/2	260/11	225/9	250/12	
4	0825	150	270/0	250/5	180/2	240/9	200/5	240/15	
10	0815	150	270/6	250/6	225/2	250/10	250/13	250/14	
11	0810	150	315/2	310/5	225/2	260/7	250/11	250/12	
13	0855	100	225/0	220/7	225/0	200/7	200/7	200/10	
27	0810	150	270/6	270/12	180/6	260/10	200/7	250/13	
1.IX	0807	150	315/2	80/3	180/2	200/1	250/6	270/12	77

72. De 06 h. 30 à 07 h. 30: 250°, 7,5 m/sec; à 1750 m: 240°, 7,5 m/sec.

73. A 2000 m: 240°, 10 m/sec.

74. Dès 08 h. 30: 135°, 5,5 m/sec; à 2000 m: 260°, 8 m/sec.

75. Avant 05 h. 30: 250°, 13 m/sec; à 1900 m: 250°, 20 m/sec.

76. A 1750 m: 250°, 5 m/sec.

77. A 2350 m: 270°, 6 m/sec.

*Troisième groupe, vent de 10 à 15 m/sec. (suite).*

Date	Heure	v. a.	1800 m		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
17. X	1105	150	—	—	—	—	250/16	270/12	78
20	0815	150	135/13	260/3	180/2	260/5	180/7	260/11	
23	1027	150	—	—	—	—	180/4	240/11	
27	1045	150	—	—	—	—	225/10	200/10	
4. VII. 1929	0800	150	270/2	210/12	180/2	200/10	180/10	230/13	
24	0705	150	270/2	250/12	180/2	270/10	225/6	280/12	79
29	0755	150	270/2	260/6	180/2	260/10	250/11	260/13	
7. VIII	0755	200	270/2	260/9	180/2	250/11	225/8	280/11	
27	0935	200	—	—	—	—	250/8	280/12	

78. A 1900 m: 260°, 15 m/sec.

79. Dès 09 h. 30: 270°, 8 m/sec; à 2000 m: 270°, 9 m/sec.

*Quatrième groupe, vent supérieur à 15 m/sec.*

Date	Heure	v. a.	1800 m.		2100 m		2500 m		Rem.
			Righi	Sond.	Pilate	Sond.	Saentis	Sond.	
19. VIII. 1927	0805	200	315/2	260/10	180/2	270/13	250/6,7	270/15,5	80
19. VI. 1928	0750	200	270/2	250/17	135/6	250/16	250/11	250/16	81
4. VII	0828	200	270/14	250/17	180/6	250/20	250/17	250/24	82
2. VIII	0857	150	270/9	310/21	225/6	310/15	250/16	310/15	83
20	0843	200	315/6	250/16	180/2	250/13	220/6	260/11	84
25. IX	0815	150	270/6	270/10	180/6	270/15	225/9	270/6	85
1. VII. 1929	1155	150	—	—	—	—	250/9	270/17	86

80. Avant 05 h. 30: 250°, vitesse supérieure à 10 m/sec; de 03 h. 30 à 04 h. 30: 250° 19,5 m/sec.

81. A 2300 m: 250°, 15 m/sec.

82. A 1900 m: 250°, 19 m/sec; de 06 h. 30 à 07 h. 30: 250°, 19 m/sec.

83. Dès 09 h. 30: 250°, 12 m/sec; à 1900 m: 310°, 17 m/sec.

84. Dès 09 h. 30: 200°, 9,5 m/sec; avant 07 h. 30: 200°, 11,5 m/sec.

85. Avant 07 h. 30: 225°, 10,5 m/sec.

86. A 2750 m: 270°, 10 m/sec.

Analysons les tables précédentes. Malgré l'éparpillement des postes d'observations au Righi, au Pilate, au Saentis, et des sondages dans la région de Zurich-Dubendorf, on pourrait s'attendre à trouver en général plus d'unité dans les résultats. La prédominance des vents du S au Pilate ne semble pas due exclusivement au relief. Le voisinage des Alpes pourrait modifier le régime des vents et laisse supposer que dans certaines situations un foehn régional, plus ou moins intense, souffle sur le Pilate, mais ne se fait pas sentir bien loin vers le N.

Comme nous l'avons déjà fait précédemment, résumons dans des tables les vents simultanés au Pilate et en pleine atmosphère; puis au Righi et en pleine atmosphère; et réunissons les vitesses par groupes. Dans les tableaux suivants:

La première colonne indique la direction du vent en degrés en pleine atmosphère.

Les huit principales colonnes indiquent la direction du vent en degrés au Righi ou au Pilate.

Les colonnes *a* contiennent les observations d'un vent de moins de 5 m/sec.

Les colonnes *b* contiennent les observations d'un vent de 5 à 10 m/sec.

Les colonnes *c* contiennent les observations d'un vent de 10 à 15 m/sec.

Les colonnes *d* contiennent les observations d'un vent de plus de 15 m/sec en pleine atmosphère à 2500 mètres.

*Pilate.*

Atmosph.	45			90			135				180				225				270		315		360		
	a	b	c	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	d	-	a	a	b	c	a	b	c		
20																								1	
30																									
50																									
60																									
70	2	1	1																						
80		1																							
90																									
100		1																							
120																									
140																									
150																									
160																									
170																									
180																									
190																									
200																									
210																									
220																									
230	1																								
240																									
250																									
260																									
270	1				1	1	1																		
280																									
290																									
300																									
310																									
330				1		1																			
340					1																				
350																									
360																									
$\Sigma$	3	4	1	1	6	3	1	1	30	27	18	4	2	8	4	1	-	2	9	6	1				

en tout 132 observations.

Dans les tabelles ci-dessus :

- 1<sup>o</sup> les observations du Righi ou du Pilate ne sont pas données si le sondage a eu lieu tard dans la matinée;
- 2<sup>o</sup> quelques directions du vent en pleine atmosphère ne sont pas notées; elles correspondent aux cas où il n'y a pas eu d'observations de cette direction.

## Righi.

atmosph.	45			90			135			180		225			270				315				360	
				a	b	c	a	b	c	a	b	a	b	c	d	a	b	c	d	a	b			
		a	b	c																				
10					1																			
30					1																			
40					1																			
50																								
60					2	1																		
70					3																			
80				1	1	1																		
90	1			1																				
110																								
120					1																			
130						1																		
140						1																		
150							2																	
170	1							1																
180								1																
190									1															
200									1	1														
210										1														
220					1						1													
230						1					1													
240						1					1													
250							1					1	3	7	2									
260								1				1	4	5	2									
270									1			1	7	3	1									
280										1			2											
290	1									1	1		1	2										
300	1					1					1		1											
310												1			1									
320												1			1									
330													1											
350	1	1				1																		
360													1											
$\Sigma$	4	1	1		12	7	1	9	5	2	2	4	2	1	2	13	22	17	4	9	7			
																			3	2	1			

en tout 132 observations.

Au Righi, les vents du secteur NE à ESE sont en général déviés vers l'E; quelques-uns semblent provoquer des tourbillons ( $80^\circ/270^\circ$ ,  $80^\circ/225^\circ$ ;  $50^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $70^\circ/315^\circ$ ).

Les vents du secteur ESE à S sont principalement déviés vers le SE par la configuration générale du massif.

Les vents du secteur SSW à WNW sont principalement déviés vers l'W, même le NW, par la configuration générale du massif; quelques-uns semblent provoquer des courants tourbillonnaires ( $260^\circ/90^\circ$ ;  $280^\circ/90^\circ$ ;  $300^\circ/90^\circ$  et  $135^\circ$ ).

Les vents du secteur WNW à NNW sont assez peu déviés.

Les vents du secteur NNW à N sont fortement déviés, soit vers l'E, soit vers l'W par l'arête N du massif.

Ces résultats confirment ceux que nous avions vus précédemment.

Au Pilate, les vents du secteur NE à E sont principalement déviés vers l'E et même le N par le massif lui-même.

Les vents du secteur ESE, S, W à WNW sont principalement déviés vers le N ou vers le NE; quelques-uns provoqueraient des tourbillons ( $230^\circ/45^\circ$  et  $360^\circ$ ;  $240^\circ/360^\circ$ ;  $270^\circ/45^\circ$ ).

Les vents du secteur NW à NNE sont surtout déviés vers le N et quelques-uns provoqueraient des tourbillons ( $310^\circ/135^\circ$ ;  $330^\circ/90^\circ$ ;  $340^\circ/135^\circ$ ;  $360^\circ/180^\circ$ ).

Il est bien évident que l'on peut se passer de faire appel à des tourbillons pour expliquer ces quelques cas spéciaux; mais il faudrait alors admettre qu'une surface de discontinuité passe, d'une part entre les points d'altitudes respectives 1800 m et 2100 m correspondant aux sondages, d'autre part entre le Righi et le Pilate. Il me semble qu'il est plus aisé et vraisemblable d'expliquer la majeure partie de ces cas spéciaux en tenant compte des tourbillons qui peuvent se former le long des crêtes.

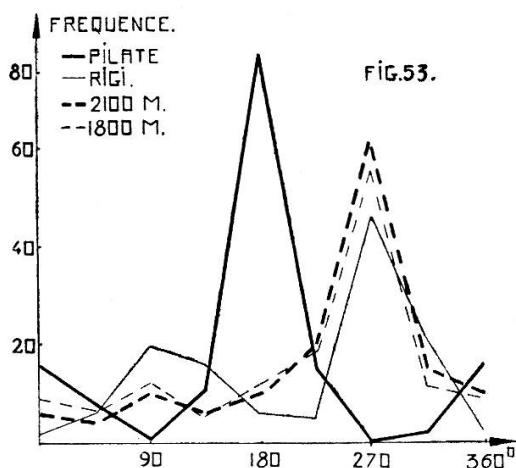
Entre les directions du vent<sup>1</sup> à 1800 met 2100 m, il n'est pas possible de mettre nettement en évidence une rotation des vents; tandis que les minima et maxima du Pilate (parmi les 132 cas ci-dessus) sont, non seulement bien plus accusés que ceux du Righi, mais encore décalés de  $90^\circ$  dans le sens inverse du mouvement des aiguilles d'une montre (fig. 53).

Ces quelques observations confirment la grande influence du relief régional sur le régime des courants aériens.

Pour les deux raisons suivantes, il est inutile de pousser plus loin l'étude du Righi et du Pilate:

<sup>1</sup> En pleine atmosphère,

- 1<sup>o</sup> les observations publiées de la force du vent (en se servant de l'échelle réduite de Beaufort) sont trop sommaires,
- 2<sup>o</sup> les huit directions employées pour indiquer d'où viennent les vents sont insuffisantes pour notre étude; les écarts de direction de  $\pm 22,5^\circ$  sont trop importants.



Prenons maintenant l'analyse comparée des observations du Saentis et du vent en pleine atmosphère à l'altitude présumée de 2500 mètres.

Résumons sous une forme synoptique ce qui peut être groupé des tables précédentes. Les significations des différentes colonnes numérotées du tableau suivant sont:

- 1<sup>re</sup> colonne: vitesse du vent en m/sec en air libre.
- 2<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations identiques au point de vue vitesse du vent, au Saentis et en pleine atmosphère.
- 3<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la vitesse du vent en pleine atmosphère fut de 0 à 50% supérieure à celle du Saentis.
- 4<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la vitesse du vent en pleine atmosphère fut de 50 à 100% supérieure à celle du Saentis.
- 5<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la vitesse du vent en pleine atmosphère fut supérieure de plus de 100% à celle du Saentis.
- 6<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations identiques au point de vue direction des vents.
- 7<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la direction du vent au Saentis diffère de  $\pm 22,5^\circ$  au plus de celle en atmosphère libre.
- 8<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la direction du vent au Saentis diffère de  $\pm 22,5^\circ$  à  $\pm 45^\circ$  de celle en atmosphère libre.
- 9<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la direction du vent au Saentis diffère de plus  $\pm 45^\circ$  de celle en atmosphère libre.

10<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations identiques du vent, en vitesse et direction, au Saentis et en atmosphère libre.

11<sup>me</sup> colonne: nombre d'observations où la force du vent est plus grande au Saentis qu'en pleine atmosphère.

12<sup>me</sup> colonne: nombre total d'observations.

13<sup>me</sup> colonne: nombre de fois, d'après les notes au bas des pages précédentes, où la vitesse ou la direction du vent en pleine atmosphère sont identiques à celle du Saentis, mais à une « altitude admise » plus basse.

14<sup>me</sup> colonne: nombre de fois, d'après les notes au bas des pages précédentes, où la vitesse ou la direction du vent en pleine atmosphère sont identiques à celle du Saentis, mais à une « altitude admise » plus élevée (*variation de la vitesse ascensionnelle dans le sondage*).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Vitesse				Direction								
	Ident.	0-50	50-100	>100	Ident.	moins de 22°,5	22°,5-45°	plus de 45°	Obs. ident.	S > p. a.	Nbr. obs.	Plus bas	Plus haut
0-5	16	7	6	10	2	13	10	31	1	17	56	24	8
5-10	4	19	12	10	7	17	11	23	1	13	58	17	6
10-15	1	14	6	7	6	8	7	9	0	2	30	8	0
> 15	0	3	2	1	2	2	2	1	0	1	7	3	1
$\Sigma$	21	43	26	28	17	40	30	64	2	33	151	52	15
En %	14	28,5	17	18,5	11	26,6	20	42,4	13	22	100%		

Les conclusions que nous pouvons tirer de ce tableau sont:

- 1<sup>o</sup> Il existe très rarement (dans environ 1% des cas envisagés), un vent identique en intensité et en direction au Saentis d'une part, et en atmosphère libre (à 2500 s/m) dans la région de Zurich-Dübendorf d'autre part.
- 2<sup>o</sup> Des écarts importants de vitesse sont très fréquents.
- 3<sup>o</sup> Des écarts importants de direction sont très fréquents.
- 4<sup>o</sup> La vitesse ascensionnelle réelle des ballons-pilotes semble être bien plus souvent inférieure que supérieure à celle que nous admettons théoriquement.

Il est donc généralement impossible de se servir sans autre précaution, pour la navigation aérienne, des observations terrestres du vent, même si elles sont exécutées sur des sommets aussi bien dégagés que le Saentis.

Puisque les vitesses et les directions du vent sont, sauf dans quelques cas, très fortement influencées par le relief local, il est impossible de déduire des observations aérologiques comparées du Saentis et de celles correspondantes en pleine atmosphère:

- 1<sup>o</sup> Les facteurs correctifs qui permettraient d'améliorer la restitution des sondages à un théodolite, en tenant compte de la vitesse et de la direction des vents à 2500 m;
- 2<sup>o</sup> L'inclinaison d'une surface de discontinuité.

Et, d'autre part, si le sondage fut arrêté en dessous et si le Saentis est en dessus d'une surface de discontinuité, il est impossible de connaître avec exactitude:

- a) soit l'écart réel des vitesses des courants inférieur et supérieur à cette surface de séparation;
- b) soit l'écart réel des directions des courants inférieur et supérieur à cette surface de discontinuité.

Il reste à vérifier si le relief modifie réellement la direction des vents dans le sens que nous avions admis après une analyse théorique. Au lieu de considérer chaque cas séparément, il est mieux de résumer toutes les observations dans un tableau, en tenant compte de la force supposée du vent en atmosphère libre et de la rotation des vents entre 2000 et 3000 m. La signification des différentes colonnes est la suivante:

- 1<sup>re</sup> colonne: direction du vent en pleine atmosphère, exprimée en degrés.
- 2<sup>me</sup> colonne: force du vent en m/sec.
- 3<sup>me</sup> colonne: les lignes « a » sont établies en tenant compte de toutes les observations (de 1927 à 1930) mentionnées précédemment; les lignes « b » sont établies en ne tenant compte que des observations où la direction du vent fut constante au moins entre 2200 et 2700 m.
- 4<sup>me</sup> à 19<sup>me</sup> colonne: direction observée du vent au Saentis, exprimée en degrés.

Les lignes horizontales qui ne contiennent pas d'observations sont supprimées. Les chiffres de la table indiquent le nombre de fois que le vent  $x$  en pleine atmosphère a correspondu au

vent *y* au Saentis; par ex.: par vent de 260° en pleine atmosphère (1<sup>re</sup> colonne) et d'une vitesse de 5-10 m/sec (2<sup>me</sup> colonne), il a soufflé: quatre fois un vent de 250° au Saentis (ligne *a*) et trois fois un vent de 250° au Saentis (ligne *b*); dans ces derniers cas il soufflait dans l'atmosphère libre un courant de direction constante (260°) quelques cent mètres en dessus et en dessous de 2500 m.

Direction atm. lib.	vit.	gr.	20	45	70	90	110	135	150	180	200	225	250	270	290	315	340	360
20	< 5	<i>a</i>											1			1		
	> 10	<i>a</i>	1															
40	< 5	<i>a</i>													1			
		<i>b</i>	1												1			
50	5-10	<i>a</i>			1													
		<i>b</i>																
60	< 5	<i>a</i>			1										1			
		<i>b</i>													1			
70	< 5	<i>a</i>				1	1						1					
		<i>b</i>											1					
80	5-10	<i>a</i>		2	1													1
		<i>b</i>															1	
100	5-10	<i>a</i>							1									
		<i>b</i>	1	1					1						1			
110	< 5	<i>a</i>				1												
		<i>b</i>																
120	< 5	<i>a</i>										1			1			
	5-10	<i>a</i>																
160	< 5	<i>a</i>											1					

Direction atm. lib.	vit.	gr.	20	45	70	90	110	135	150	180	200	225	250	270	290	315	340	360
170	5-10	<i>a</i>											1					
190	> 5	<i>a</i>			1						1							
	5-10	<i>a</i>									2							
200	5-10	<i>a</i>									1	1						
	< 10	<i>a</i>											1	1				
		<i>b</i>																
220	< 5	<i>a</i>												1				
	5-10	<i>a</i>												1	1			
		<i>b</i>																
	> 10	<i>a</i>										1	1	1	1			
230	< 5	<i>a</i>									1	2	1	1	1			
		<i>b</i>										1	1					
	5-10	<i>a</i>										1	1		3			
		<i>b</i>												1				
	> 10	<i>a</i>									1							
240	< 5	<i>a</i>												1				
	5-10	<i>a</i>											1	1	1	1		
		<i>b</i>										2	1					
	> 10	<i>a</i>										2	1					
		<i>b</i>										2	1					
250	< 5	<i>a</i>							1							1		
	5-10	<i>a</i>									3	1			5			
		<i>b</i>									1	1			3			
	> 10	<i>a</i>										2	3	6	5			
		<i>b</i>										1	2	5	5			
260	< 5	<i>a</i>									1		1	3	1			
		<i>b</i>										1	1	2	1	1		
	5-10	<i>a</i>									1	2	3	4				
		<i>b</i>									1	1	3	3				

Direction atm. lib.	vit.	gr.	20	45	70	90	110	135	150	180	200	225	250	270	290	315	340	360	
	> 10	a								2		1	2	1					
		b								2		1	2	1					
270	< 5	a						1		1	1	1	2	2					
		b						1		1	1	1	1	1					
	5-10	a									1			1	1				
		b									1								
	> 10	a										2	2	3					
		b										2	2	1					
280	< 5	a									2		3						
		b											1	1					
	5-10	a											1	1					
		b																	
	> 10	a										2	1						
290	< 5	a										2	1	1					
		b																	
	5-10	a	1								1		3						
		b										1	2						
300	< 5	a				1							3			1			
		b				1							1						
	5-10	a											4						
310	< 5	a											1		1	1	1		
		b																	
	5-10	a												4			1		
320	< 5	a												1		1	1	1	
		b																	
	5-10	a												1					
330	< 5	a												1					
		b																	
	5-10	a													1				

Direction atm. lib.	vit.	gr.	20	45	70	90	110	135	150	180	200	225	250	270	290	315	340	360
340	< 5	a											1					
	5-10	a											1					
350	< 5	a											1					
	5-10	a b		1									1					
360	< 5	a b										1	1	1				1
	5-10	a b										1	1	1				

Pour les raisons exprimées précédemment, examinons spécialement les résultats des lignes « b » et désignons l'expression pleine atmosphère par p.a. et Saentis par S.

$20^\circ$ p. a.	10 m/sec	$20^\circ$ S
$40^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$250^\circ$ S
$60^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$290^\circ$ S
$100^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$225^\circ$ S
$270^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$135^\circ$ S
$300^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$70^\circ$ S
$360^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$225^\circ$ S
$70^\circ$ p. a.	< 5 m/sec	$180^\circ$ S
$70^\circ$ p. a.	5-10 m/sec	$360^\circ$ S
$290^\circ$ p. a.	10 m/sec	$180^\circ$ S

Le vent peut arriver directement à l'observatoire par l'échancreure du Hühnenberg-Girespitz.

Ces différences de direction semblent être dues à des tourbillons ou à des aspirations d'air par dessus la crête. L'hypothèse que nous nous trouvons de part et d'autre d'une surface de discontinuité semble peu probable.

Pour ces trois cas il n'y a pas d'explications bien plausibles.

Les déviations de tous les autres cas peuvent être attribuées au relief général du massif ou à la configuration compliquée des environs de l'observatoire. Encore une fois, nous constatons l'importante influence orographique du massif du Saentis sur la direction des courants aériens.

Remarquons ici qu'il serait intéressant de mettre en lumière l'influence de ce massif montagneux sur la vitesse du vent dans les différentes directions. Faute de matériaux suffisamment abondants et précis, il faut provisoirement renoncer à

étudier cette question. Indiquons simplement à titre d'orientation, en nous basant sur les 151 observations de cet essai, qu'il semble que le sol influence en général assez peu les vitesses supérieures à 10 m/sec.

En résumé, les observations aérologiques du Saentis sont bien loin de correspondre à la vitesse et à la direction *supposées* du vent en pleine atmosphère. Elles donnent une très vague notion de l'état et du genre des courants aériens; mais, en général, rien de plus. La configuration du massif est cause des déviations locales des courants aériens. Il ne faut pas oublier, d'autre part, que les renseignements fournis par les ballons-pilotes sont approximatifs, et que les courants aériens peuvent évoluer quelque peu, dans certains cas, sur le parcours Zurich-Saentis ou vice versa.

#### B. *Vent théorique.*

Il nous reste maintenant à vérifier la possibilité pratique de calculer le *vent théorique au « gradient densité »* et à étudier si possible le degré réel d'exactitude de cette méthode. A cause de l'intérêt qu'il y a à opposer les résultats du « vent théorique au gradient densité », aux valeurs correspondantes du « vent théorique au gradient pression », ces deux grandeurs seront calculées dans chaque cas.

Les matériaux employés seront ceux des jours où les sondages à un théodolite de Zurich ou Dübendorf ont atteint une altitude de 2500 m au cours des années 1927/1930.

Le choix des stations, dont les observations peuvent servir à calculer le vent théorique au gradient densité ou pression, est soumis à quelques conditions.

Pour cet essai, il est désirable que ces stations soient réparties si possible de part et d'autre de Zurich, qu'elles se trouvent à des altitudes où les avions volent normalement, qu'elles ne soient pas trop éloignées, ni trop proches les unes des autres.

Dans une étude rétrospective, on ne peut que se servir des stations existantes, quoiqu'elles ne correspondent pas toujours, tant au point de vue altitude qu'à celui de leur situation, aux désiderata de cet essai.

Aux environs immédiats de Zurich, il n'y a pas de postes d'observation vers 1000 à 1200 m, ou 2000 m, qui sont des altitudes fréquentes de vol.

Choisissons comme stations pour le niveau inférieur: Schwäbrig (1152 m<sup>1</sup>) près de Gais dans le canton de St-Gall; Oberiberg (1090 m) près d'Einsiedeln; le St-Beatenberg (1148 m) près de Thoune; Chaumont (1127 m) près de Neuchâtel et le Weissenstein (1285 m) près de Soleure.

Prenons comme altitude de réduction 1140 m; et examinons la situation de chacun de ces sommets. Le Weissenstein et Chaumont sont sur le bord sud-est de la crête du Jura et surplombent le plateau suisse. Il ne semble pas qu'une influence locale quelconque puisse modifier les mesures de pression, température et humidité.

Le St-Beatenberg domine le lac de Thoune de près de 600 m. Dans cette région la vallée de l'Aar est assez large. A l'E et au NE, le St-Beatenberg est séparé des hautes Alpes par le lac de Brienz, le Brunig, les lacs de Lungern et Sarnen. Quoique tout près des hautes Alpes, la station du St-Beatenberg en est pourtant bien séparée par la largeur et la profondeur des vallées. Les étangs d'air froid qui peuvent se former sur les lacs de Thoune et de Brienz n'atteignent que rarement cette altitude. Cette station est exposée au fœhn.

Le poste d'Oberiberg est le plus mal situé. Il est séparé des hautes Alpes par le Muotathal, le Pragelpass et le Klöntthal, mais il est entouré par de hauts sommets: le Flühberg (2097 m), les Drusberg (2281 m), le Stockfluh (1604 m). Il est probable que le matin, l'air froid et pesant des Alpes augmentera un peu la pression barométrique à cette station.

Le poste de Schwäbrig<sup>2</sup> est séparé des Alpes par la vallée du Rhin, à l'E et au S par la tranchée du lac de Wallenstadt; il est aussi séparé du massif du Saentis par deux vallons: celui d'Appenzell à Eichberg, et celui de Gais à Altstätten.

<sup>1</sup> Ces altitudes sont celles des cuvettes des baromètres et sont indiquées dans les annales de l'O. C. M.

<sup>2</sup> A 3,5 km au NE de Gais, à l'E de la colline du Gäbris.

*Des observations utilisées.*

Près de 300 calculs préliminaires m'ont montré qu'avant d'aller plus loin, il est utile de vérifier la précision des observations des postes météorologiques. Je ne citerai, à titre d'exemple, que les quelques chiffres suivants; ils sont choisis au hasard parmi les calculs préliminaires. Les pressions du Weissenstein (1285 m) et de Chaumont (1127 m) sont réduites à l'altitude de 1152 m. Voici les résultats en se servant des chiffres non corrigés:

Date	Weissenstein	Chaumont	Date	Weissenstein	Chaumont
8.V.29	6583	6634	23.V.29	6633	6640
13	6654	6646	24	6628	6631
14	6646	6658	25	6662	6666
21	6636	6649	29	6665	6680
22	6642	6646	31	6648	6661

Pression  
moyenne

Weissenstein. . . . .	663,97
Chaumont. . . . .	665,11

Pendant ce mois de mai la pression aurait été de 1,14 mm plus forte au-dessus de Chaumont que dans la région du Weissenstein; c'est inadmissible.

Pour le présent essai, il n'est donc pas possible de se servir sans autre précaution des indications de pression, température et humidité mentionnées dans les «Annales» ou conservées dans les archives de l'O.C.M. de Suisse.

Malheureusement, lorsqu'un certain temps s'est écoulé à partir de la date où des observations météorologiques ont été faites, les valeurs de la température et de l'humidité ne peuvent guère être vérifiées avec exactitude, ou rectifiées en employant les renseignements des stations voisines du riche réseau météorologique de notre pays.

Les raisons en sont multiples: les thermomètres et thermographes ne sont pas partout exposés de la même manière; les

postes météorologiques voisins sont généralement à des altitudes différentes. Pour cette dernière raison, il faudrait admettre un gradient thermique moyen, qui ne coïncide pas nécessairement avec les conditions temporaires et journalières (inversion thermique, föhn, écoulement d'air froid le long des montagnes, etc.).

L'humidité est encore plus capricieuse que la température.

Seules les observations de pression (ou d'altitude) peuvent être vérifiées postérieurement.

Admettons comme exactes les altitudes indiquées dans les annales; choisissons les stations et vérifions les pressions barométriques.

Pour contrôler les baromètres, il suffit de réduire les pressions à une altitude de référence (1140 m). La formule employée est analogue à celles<sup>1</sup> qui sont journallement utilisées pour réduire la pression d'un poste quelconque, à faible altitude, au niveau de la mer. Cette formule, qui n'est pas autre chose que l'équation barométrique simplifiée, a pour expression<sup>2</sup>:

$$\Delta h = \frac{8000}{p_m} \cdot [1 + 0,002 \cdot (t_A + t_B)] .$$

La hauteur  $\Delta h$  correspond à 1 mm de Hg de différence de pression. Connaissant la différence d'altitude  $h_A - h_B$  des postes A et B, il suffit de diviser  $h_A - h_B$  par  $\Delta h$  pour avoir la variation de pression. Il n'y a pas d'inconvénient à employer cette formule aussi longtemps que les différences d'altitude ne dépassent pas 600 m. L'équation précédente s'établit facilement en partant de la formule:

$$\Delta p = -\varrho \cdot \Delta h ,$$

$\Delta p$  = variation de pression,

$\Delta h$  = variation de hauteur,

$\varrho$  = poids spécifique de l'air à une température quelconque.

<sup>1</sup> Rapport de la Délégation tchécoslovaque (Dr SWOBODA) à la 34<sup>e</sup> Conférence aéronautique internationale, 1932, au sujet de la résolution 14/33 concernant la réduction du baromètre au niveau de la mer.

<sup>2</sup> Voir 4<sup>e</sup> chapitre.

En ne tenant compte ni de l'humidité de l'air, ni de la variation de la pesanteur,  $\rho$  a pour valeur:

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{\rho_{Hg} \cdot 760} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t}$$

où

$$\rho_0 = 1,293 \text{ gr} ; \quad \rho_{Hg} = 13596 \text{ gr} ;$$

$$\frac{\rho_{Hg} \cdot 0,760}{\rho_0} = 7991 \text{ m} ;$$

d'où

$$7991 \cdot \frac{\Delta p}{p} \cdot (1 + \alpha t) = \Delta h .$$

En remplaçant:

$$\left\{ \begin{array}{ll} 7991 \text{ par la valeur voisine} & . . . . . 8000 \text{ m} ; \\ \alpha \text{ par la valeur approchée} & . . . . . 0,004 ; \\ t \text{ par la température moyenne} & . (t_A + t_B) \cdot 0,5 ; \\ p \text{ par la pression moyenne.} & . . . . . p_m = \frac{p_A + p_B}{2} ; \end{array} \right.$$

et en choisissant:

$$\Delta p = 1 ,$$

nous obtenons l'équation:

$$\Delta h = \frac{8000}{p_m} [1 + 0,002 \cdot (t_A + t_B)] .$$

Dans le contrôle que nous faisons des baromètres, pour éviter des réductions trop considérables, opérons par tranches; et choisissons comme baromètre principal celui de l'O.C.M. (493,2 m).

Dans la Suisse du NE, la tranche inférieure sera Zurich-St-Gall (702,0 m), les tranches supérieures seront St-Gall-Schwäbrig (1152 m) et St-Gall-Oberiberg (1090 m).

Dans la Suisse centrale, la tranche inférieure sera Zurich-Langenbruck (704,7 m), les tranches supérieures seront Langen-

bruck-St-Beatenberg (1148 m), Langenbruck-Weissenstein (1285 m) et Langenbruck-Chaumont<sup>1</sup> (1127 m).

Afin d'éliminer autant que possible les influences temporaires, opérons les réductions sur les moyennes annuelles de pression et température. Pour vérifier les calculs, les observations de Chaumont furent réduites à 1285 m et celles du St-Beatenberg à 1152 m, et les résultats ont été comparés. Les différences

	S <sup>t</sup> -Gall	Schwäbrig	Oberberg	Langenbruck	Weissenstein	Chau-mont	S <sup>t</sup> -Beatenberg
1927 . .	+ 0,3	0	0	+ 0,2		— 0,1 ± 0,0 — 0,2 0 — 0,2 — 1,6 + 0,3	— 0,2
Mai . .							
Juin . .							
JUILLET .							
Août. .							
Septem.							
Octobre							
1928 . .	+ 0,3	0	0	+ 0,2		+ 0,5 + 0,4 + 0,4 + 0,6 + 0,2 + 0,3	0
Mai . .							
Juin . .							
JUILLET .							
Août. .							
Septem.							
Octobre							
1929 . .	+ 0,2	0	0	+ 0,3	+ 0,4 + 0,9 + 0,7 + 0,5 + 0,3 + 0,3 + 0,3	— 0,3 + 0,4 — 0,1 — 0,2 — 0,1 — 0,0 — 0,3	— 0,1
Mai . .							
Juin . .							
JUILLET .							
Août. .							
Septem.							
Octobre							
1930 . .	+ 0,3	+ 0,1	+ 0,2	+ 0,2	+ 0,6 + 0,7 + 0,8 + 0,4 — 0,5 + 0,5 + 0,2	— 0,4 0 0 — 0,3 + 0,1 + 0,3 — 0,9	— 0,25
Mai . .							
Juin . .							
JUILLET .							
Août. .							
Septem.							
Octobre							

<sup>1</sup> Par ce procédé, nous comparons indirectement les baromètres de Schwäbrig, Oberiberg, St-Beatenberg, Chaumont et Weissenstein à celui de Zurich.

furent nulles. Il est utile de donner en partie les tables de réduction pour justifier les modifications de pression et pour prouver que les corrections peuvent être importantes. Dans la table suivante sont indiquées les corrections en mm de Hg, déduites de la réduction barométrique à des altitudes de référence (493,2 m; 702,0 m et 704,7 m). Les chiffres à droite des années indiquent les corrections annuelles, les autres les corrections mensuelles.

Cette table montre que:

- 1<sup>o</sup> les corrections de Saint-Gall et Langenbruck sont restées presque constantes au cours des quatre ans.
- 2<sup>o</sup> les corrections de Schwäbrig, Oberiberg et du St-Beatenberg sont très faibles et sont restées sensiblement constantes.
- 3<sup>o</sup> les corrections de Chaumont sont très irrégulières.
- 4<sup>o</sup> les corrections du Weissenstein semblent soumises à un certain cycle, surtout en 1929 et 1930.

Les observations de Chaumont et du Weissenstein sont donc les plus douteuses parmi celles de ces divers postes.

De faibles erreurs de pression ou de température peuvent entraîner de graves fautes dans la détermination du poids spécifique de l'air. Les calculs suivants en donnent une idée:

$$\varphi = 0,4645 \frac{p^*}{T}$$

$p^*$  = pression corrigée, même de l'influence de la vapeur d'eau;  
à 1100 m:  $p^* = 660$  à 670 mm.

T = température absolue; à environ 1100 m: T = 283 à 300°.

Prenons pour moyenne 665 mm et 290° et calculons l'influence d'une erreur de  $\pm 0,5$  mm et  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

$$665 : 290 = 2293,1$$

$$664,5 : 289,5 = 2295,3 \quad 665,5 : 290,5 = 2290,8$$

$$664,5 : 290,5 = 2287,4 \quad 665,5 : 289,5 = 2298,7$$

d'où

$$\varphi = 0,4645 \left( 2293,1 \pm \frac{5,6}{5,7} \right) = 1065,14 \pm 2,62 .$$

Une erreur de  $\pm 0,5$  mm de pression jointe à une erreur de  $\pm 0,5^\circ\text{C}$  de température peut entraîner une erreur de  $\pm 2,62$  gr par  $\text{m}^3$  d'air. C'est beaucoup.

A cause du fait que les observations utilisées n'ont pas été spécialement exécutées en vue de ce travail, il sera utile de calculer aussi le « vent théorique au gradient pression », sur lequel les erreurs sont moins sensibles que sur le vent théorique au gradient densité.

### *Calcul pratique du vent théorique.*

Reprendons l'équation du *vent théorique au gradient densité* que nous avons vue précédemment (fin du N° 8):

$$\frac{g}{D} \cdot \frac{\pm \varrho_B (h_{A_1} - h_A) \mp \varrho_{A_1} (h_B - h_A) \mp \varrho_A (h_{A_1} - h_B)}{\varrho_A - \varrho_{A_1}} = 2 \omega W \sin \varphi \pm \frac{W^2}{r};$$

et l'équation classique du *vent théorique au gradient pression*:

$$\frac{1}{\varrho} \frac{dp}{dn} = 2 \omega W \sin \varphi \pm \frac{W^2}{r}.$$

Dans ces deux égalités, les facteurs du second membre ont même signification; les facteurs du premier membre de la seconde signifient:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varrho = \text{poids spécifique moyen de l'air}, \\ dp = \text{variation de pression en mm de Hg}, \\ dn = \text{distance sur laquelle existe la variation de pression } dp. \end{array} \right.$$

Le premier membre de l'équation du *vent théorique au gradient densité* est d'une expression générale, mais compliquée. Cherchons à le simplifier pour l'application à notre cas particulier. Dans ce but réduisons les poids spécifiques de l'air aux postes C, D, E, F, etc., situés aux altitudes  $h_C, h_D, h_E, h_F$ , etc., à une altitude intermédiaire  $h$  de référence.

Sur le plan horizontal  $h$ , dessinons les lignes d'égal poids



spécifique  $\rho$  et les isobares  $i$ . Prenons les postes que nous avons précédemment désignés par  $A_1$  et  $B$  sur deux lignes  $\rho$  et  $\rho + \varepsilon$  (ou respectivement sur deux isobares  $i$  et  $i + \varepsilon$ ), la notation  $\varepsilon$  représentant  $\pm 1$ , de telle sorte qu'ils soient aussi situés sur une ligne de plus grande pente des plans de poids spécifique constant ou de pression constante. Grâce à ces conditions nous avons:

$$h_{A_1} = h_B ;$$

$$\varphi_B = \varphi_{A_1} + \varepsilon ;$$

d'où

$$\mp \varphi_A (h_{A_1} - h_B) = 0 ;$$

$$\pm \varphi_B (h_{A_1} - h_A) \mp \varphi_{A_1} (h_B - h_A) = \pm \varepsilon (h_B - h_A) .$$

Le premier membre de l'équation se réduit donc à:

$$\frac{g}{D} \cdot \frac{h_B - h_A}{\varphi_A - \varphi_B + \varepsilon} ;$$

Aussi longtemps que  $\varphi_A$  et  $\varphi_B$  ne seront pas connues avec toute la précision désirable, on pourra encore simplifier le dénominateur en supprimant  $\varepsilon$ .

Le second facteur de ce produit est l'épaisseur de la tranche d'air dont la différence des poids spécifiques est 1. Calculons maintenant le second membre de l'équation.

La vitesse angulaire  $\omega$  de la terre autour de son axe est:

$$\omega = \frac{2\pi}{86164} = 0,00007292 ;$$

prenons pour latitude moyenne  $\varphi = 47^\circ$  d'où  $\sin \varphi = 0,73$ .

Le produit  $2 \omega \sin \varphi$  a pour valeur 0,000106.

En admettant que  $r$  soit infiniment grand, l'équation du *vent théorique au gradient densité* se réduit à:

$$92500 \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{h_B - h_A}{\varphi_A - \varphi_B} = W ;$$

car

$$\frac{g}{2\omega \sin \varphi} = \frac{9,81}{0,000106} = 92500 .$$

Il est préférable de calculer pratiquement le vent théorique sous cette forme simplifiée; puis, à l'aide d'une abaque, de tenir compte si possible du rayon de courbure et d'améliorer le résultat. La figure 54 montre la grande influence des rayons de courbure  $r$  sur les forts vents cycloniques (en trait épais) ou anticycloniques (courbes en fin). En ordonnées, on a porté les vitesses du vent en m/sec. pour  $r = \infty$ ; en abscisses sont portés les rayons de courbure. A droite de la bande hachurée l'échelle des longueurs est changée.

Pour le présent essai, basé sur des données datant de quelques années, il n'est en général pas possible de connaître  $r$ , faute d'observations suffisamment nombreuses et exactes.

De même, en admettant que  $r$  est infiniment grand, l'équation du *vent théorique au gradient pression* se réduit à:

$$\frac{1}{\varphi} \cdot \frac{dp}{dn} \cdot \frac{1}{2\omega \sin \varphi} = W .$$

N'oublions pas que, dans cette équation, les termes doivent être exprimés en unités absolues (système kg-m-sec).

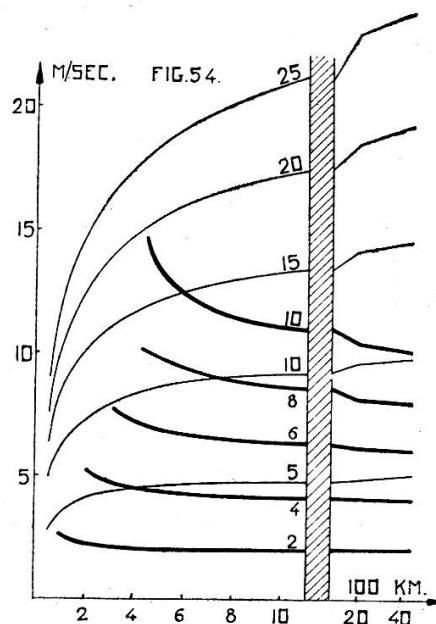
En attribuant à chaque terme sa valeur numérique en unités pratiques:

$$\left\{ \begin{array}{l} dn = k \text{ km} , \\ dp = 1 \text{ mm Hg} , \end{array} \right.$$

on aura:

$$\begin{aligned} dp = 1 \text{ mm Hg} &= \frac{(1,3596) \cdot (9,81) \cdot 10^4}{10^3} \\ &= 133,3 \text{ unités absolues } (\text{kg}^1 \text{m}^{-1} \text{sec}^{-2}) , \end{aligned}$$

$$dn = \text{distance en m} = 1000 k ;$$



on a d'autre part:

$$2\omega \sin \varphi = 0,000106 ,$$

et

$$\varphi = \frac{\rho_c + \rho_d + \rho_e + \dots}{n} \text{ en } \text{kg/m}^3 = 1, xyz ;$$

et nous obtenons:

$$\frac{133,3}{\varphi \cdot 1000 k (0,000106)} = \frac{1225}{\varphi \cdot k} = W .$$

Comme précédemment, nous rectifierons, à l'aide d'une abaque, la valeur de  $W$ , si les isobares sont curvilignes.

Pour cet essai, basé sur d'anciennes données, la connaissance de  $r$  en altitude est bien souvent difficile, faute d'observations assez nombreuses et précises. Pour les couches très basses de l'atmosphère, faute de mieux, on peut attribuer à  $r$  sa valeur au sol, calculée à l'aide des cartes synoptiques de travail de l'O.C.M. de Zurich.  $r$  sera mesuré géométriquement sur les cartes météorologiques. Aucune correction ne sera apportée à  $r$  à cause du genre de projection de la carte employée pour représenter l'image barométrique<sup>1</sup>.

En plus de la simplification des calculs numériques, il y a une autre raison d'opérer suivant la manière abrégée proposée ci-dessus pour obtenir des vents théoriques.

Sur les aéroports, on désire connaître aussi vite que possible, aux environs de huit heures, par exemple, et surtout par temps couvert bas ou par brouillard au sol, le vent *dans ou en dessus des nuages*. A l'heure mentionnée les « temps » étrangers ne sont pas encore transmis et la carte synoptique n'est pas encore commencée ou suffisamment développée. Vu ces deux raisons, on peut calculer le vent théorique en supposant en première approximation les lignes d'égal poids spécifique (ou d'égale pression) comme étant rectilignes. Par ce procédé on obtient la direction théorique du courant et une idée sur l'ordre de grandeur de la vitesse du vent. Ensuite, lorsque d'autres renseignements complémentaires arriveront, il sera facile, sans calculs, de rectifier la grandeur de la vitesse théorique du vent.

<sup>1</sup> E. GOLD, *Barometric gradient and Wind force*.

Dans les calculs suivants nous négligerons la correction de la pesanteur avec l'altitude pour tous les postes inférieurs à 1500 m. D'après les annales de l'O.C.M., de Zurich, elle est insignifiante. Pour les postes suivants elle est de:

Chaumont	Weissenstein	S <sup>t</sup> -Beatenberg	Oberiberg	Schwäbrig
— 0,02	— 0,02	— 0,05	— 0,03 mm de Hg	x

D'autre part, nous admettrons, en accord avec les faits observés, qu'en altitude et en pleine atmosphère, le vent est perpendiculaire au gradient. Cette simplification permet de négliger les résultats de Guldberg et Mohn<sup>1</sup> au sujet du pseudo-frottement:

$$g \cdot \cos \varepsilon = \chi \cdot W ;$$

$g$  = acc. terrestre,

$\varepsilon$  = angle de déviation,

$W$  = vitesse du vent,

$\chi$  = coefficient de résistance, égal à:

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,0000845 \text{ en Norvège} \\ 0,00002 \text{ sur l'Atlantique} \end{array} \right\} \text{ d'après Mohn.}$$

De même, nous pourrons négliger l'angle formé par ce pseudo-frottement et la tangente à la trajectoire, mis en évidence par les études de Hesselberg, Sandström et Exner<sup>2</sup>.

Ayant ainsi préparé le calcul numérique, passons aux observations annuelles.

(A suivre.)

<sup>1</sup> Cité par HANN, loc. c.

<sup>2</sup> Cité par HANN., loc. c.