

**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 18 (1936)  
  
**Artikel:** Contribution à la météorologie alpestre [suite et fin]  
**Autor:** Berger, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-743067>

### **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:** 07.02.2026

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

CONTRIBUTION  
À LA  
**MÉTÉOROLOGIE ALPESTRE**

PAR

**P. BERGER**

(Avec 16 fig.)

(suite et fin)

*Groupement des situations météorologiques.*

Pour préciser les conditions météorologiques journalières, quelques renseignements sont donnés sous forme de tabelles; celles désignées par la lettre « A » contiennent quelques indications sur les vents en altitude. Les tabelles « B » donnent un aperçu du temps sur l'itinéraire.

Les renseignements contenus dans la tabelle « A » sont:

1<sup>re</sup> colonne: dates (août 1933).

2<sup>me</sup> colonne: lieux des sondages: Milan = M; Dubendorf = D.

3<sup>me</sup> colonne: heure du sondage en temps: HEC.

Les colonnes suivantes désignent les altitudes de référence exprimées en km. La direction d'où vient le vent est exprimée à l'aide des seize points cardinaux, l'intensité du vent est exprimée en km/h.

Les renseignements contenus dans la tabelle « B » sont:

1<sup>re</sup> colonne: les dates.

2<sup>me</sup> colonne: NR = nature des renseignements contenus sur la ligne:

$t$  = temps prédominant au moment de l'observation.

$v$  = visibilité horizontale en km.

N = nébulosité, le premier chiffre indique la quantité de nuages, exprimée en dixièmes de la surface totale du ciel visible, appartenant à la couche prédominante la plus basse; le deuxième chiffre indique la quantité totale du ciel couvert par tous les nuages.

$h$  = la hauteur en hm au-dessus du sol de la couche inférieure de nuage.

DF = la direction et la force du vent, comme dans la tabelle A.



Les colonnes D, W, S, ... contiennent les observations de:

D = Dubendorf    S = Saentis    J = Jungfrauoch  
W = Weesen    SB = San Bernardino    L = Lugano  
B = Bellinzone    C = Chiasso    M = Milan

Les abréviations suivantes sont employées à la ligne *t*:

broui. = brouillard    nua. = nuageux  
couv. = couvert    p. nua. = peu nuageux  
fa. pl. = faible pluie    pl. mod. = pluie modérée  
fo. pl. = forte pluie    tr. nua. = très nuageux

*Premier cas.* — Gradient supérieur à 20 gr/degré d'arc.

TABELLE N° 11.

(A.)

			Altitudes en km			
D	L	H	1	1,5	2	3
22	D	07	W 35	W 40		
	M	07	SE 24	—		
24	D	07	WSW 22	W 42		
	M	07	NNW 22	—	—	NW 32

TABELLE N° 12.

(B.)

D	N.R.	D	W	S	J	SB	B	L	M
22	<i>t</i>	averse	couv.	broui.	broui.	broui.	tr. nua.	brume	couv.
	<i>ρ</i>	20-50	20-50	0,2-0,5	0	< 0,2	10-20	2-4	10-20
	N	9-10	6-10	X	X	X	7-8	X	10-10
	<i>h</i>	15-20	1-10	0	0	0	15-20	6-10	6-10
	DF	SE 2	W 10	WSW 22	NW 22	S 5	calme	N 22	ENE 10
24	<i>t</i>	fa. pl.	pl. mod.	neige	broui.	nua.	clair	clair	clair
	<i>ρ</i>	10-20	10-20	< 0,2	0	4-10	10-20	10-20	20-50
	N	9-10	3-10	X	X	5-5	0	0	0
	<i>h</i>	15-20	6-10	X	X	10-15	—	—	—
	DF	WNW 5	W 10	NW 30	NW 30	N 40	N 10	N 5	WSW 5

Malgré l'intensité du gradient, à première vue il peut sembler étrange que le temps ne fut pas parfaitement identique ces deux jours.

En Suisse allemande, jusque vers 08 h. 00 le temps était pluvieux aussi bien le 22 que le 24, tandis que le ciel était clair ou peu nuageux dans la partie N du Tessin. La forte nébulosité dans la vallée du Pô le 22 semble due à une surface de discontinuité qui serait en voie d'être détruite dans la partie N du Tessin par le fort gradient densité; il ne faut pas oublier que le 21, ce même gradient était encore orienté vers le NE et que nous n'avons pas à faire à un régime stationnaire. Pour ce premier cas, nous ne disposons malheureusement que de quatre trajets aériens, mais c'est tout de même suffisant pour prouver que les Alpes et le fort gradient  $\Delta\rho$  provoquent un trouble important dans le champ des températures. L'influence des Alpes, sur le champ de la température, est asymétrique. Du côté des vents ascendants la température baisse au voisinage des Alpes tandis qu'elle augmente sur l'autre versant.

Si le gradient densité est supérieur à 20:

*Horizontalement*: la baisse maximale de température ne se produit pas sur les flancs de la montagne, mais à 10-20 km plus au «large»; il en est de même du réchauffement qui passe par un maximum sur le versant S à 10-30 km au «large» des Alpes.

*Verticalement*: la baisse la plus forte se produit vers 2000 m sur le versant N, le réchauffement le plus intense vers 2500 m sur mer en dessus du Tessin. L'influence orographique peut modifier le champ des températures à plus de 5000 m, comme le prouve le vol du 22.VIII.33.

En admettant l'hypothèse que les surfaces isothermes seraient horizontales, en l'absence des Alpes, et qu'elles ne sont gauchies que par l'influence orographique, il serait possible de déterminer le déplacement vertical des particules d'air pour une transformation adiabatique à l'aide d'une des équations classiques.

Sur les figures 6 à 10, les chiffres à gauche indiquent les altitudes en km; les lettres D, M désignent les emplacements de Dubendorf et Milan. La ligne doublée de hachures correspond à l'altitude de 0 mètre. Les lignes courbes représentent des «isothermes déformées» de 2° en 2° C.

Ces figures furent obtenues de la manière suivante:

Pour chaque cas séparément, jour par jour, les trajectoires aller et retour furent dessinées. Les températures furent notées

aux altitudes 500, 1000, 1500 m, etc. Pour éviter de mélanger des situations météorologiques trop différentes, les isothermes furent tracés entre les trajectoires aller et retour de chaque jour. Sur ces trajets élémentaires, faute de mieux, nous admettons que les isothermes sont rectilignes. Finalement des courbes continues sont tracées de manière qu'elles soient tangentes aux fragments rectilignes d'isothermes; ce sont ces courbes qui sont représentées sur les figures 6 à 10.

*Deuxième cas.* — Gradient de 20 à 12 gr par degré d'arc.

TABELLE N° 13.  
(A.)

D	L	H	Altitude en km							
			1	1,5	2	3	4	5	6	
2	D	07	NW 12	WNW 27	W 28	NW 27	NW 35	—	—	
	M	07	N 21	—	—	N 25	—	—	—	
3	D	07	ESE 12	ENE 16	NE 12	NE 16	—	—	—	
	M	07	E 7	—	—	ESE 37	—	—	—	
4	D	07	E 37	—	E 35	E 42	ENE 46	NE 46	ENE 50	
	M	07	N 2	—	NNE 13	—	—	—	—	
15	D	07	W 28	W 20	WSW 30	SW 14	—	—	—	
26	D	08	E 14	ESE 28	—	—	—	—	—	

Ces renseignements confirment les précédents.

Dans les couches inférieures, cependant, l'influence du gradient  $\Delta\rho$  semble très faible, tandis qu'en altitude elle paraît même plus accusée que dans le cas précédent. Dans ou en dessus des parties supérieures des vallées (cas des 2 et 4 août) il se forme comme des îlots d'air relativement très froid; sont-ils fixes ou bien se détachent-ils comme les tourbillons dans un fleuve, derrière un obstacle ? Ils ne semblent pas être le privilège d'un endroit; ils seraient migrants. Ces énormes bulles d'air froid ne se trouvent qu'à plus de 2000 m et seulement en dessus des Alpes. S'agirait-il simplement d'une inversion thermique ? La direction du gradient a peu changé du 2-3, du 3-4, du 14-15 et du 25-26, de même que son intensité les 2-3, 3-4, 25-26, tandis que du 14-15 elle subit une notable variation.

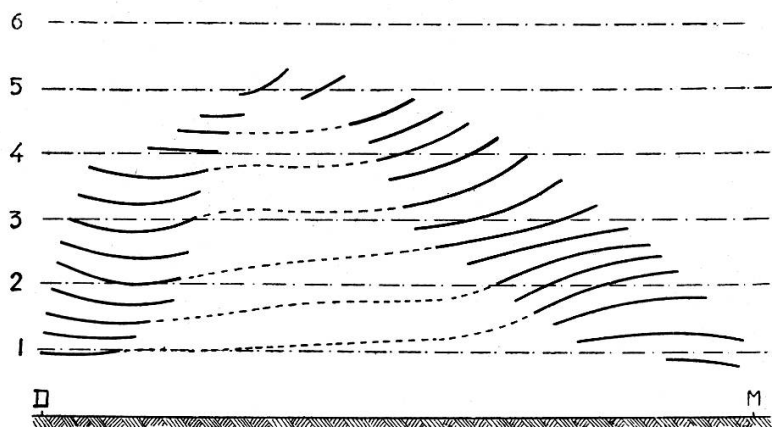


Fig. 6.

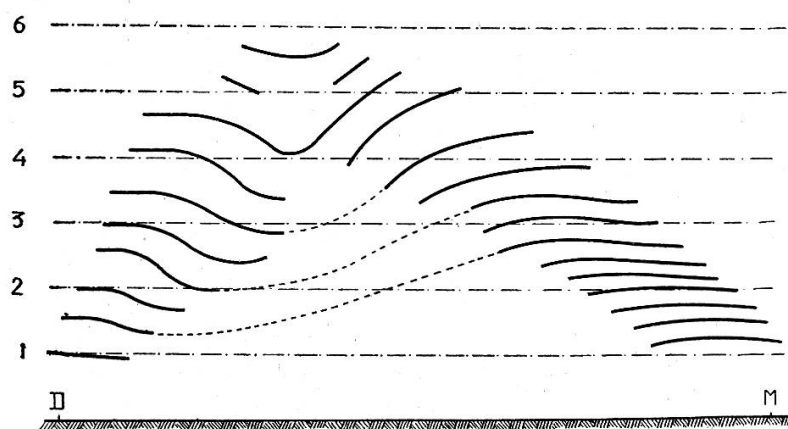


Fig. 7.

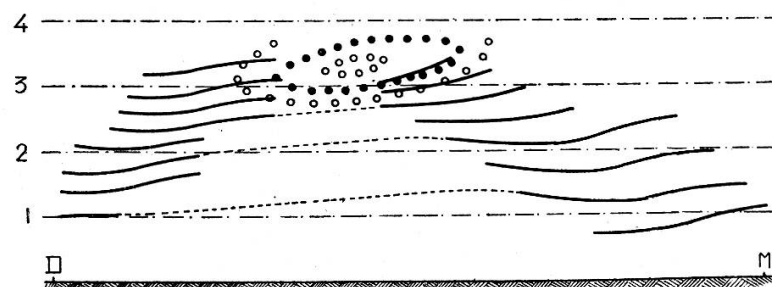


Fig. 8.

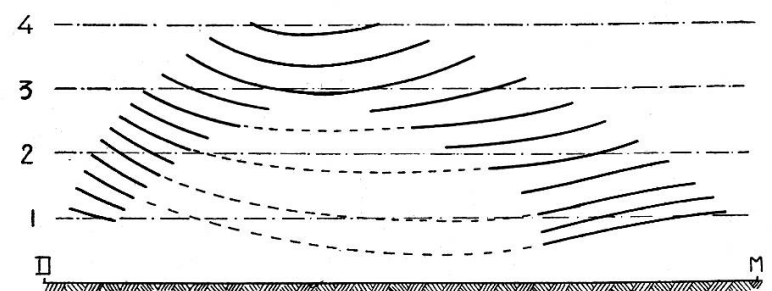


Fig. 9.

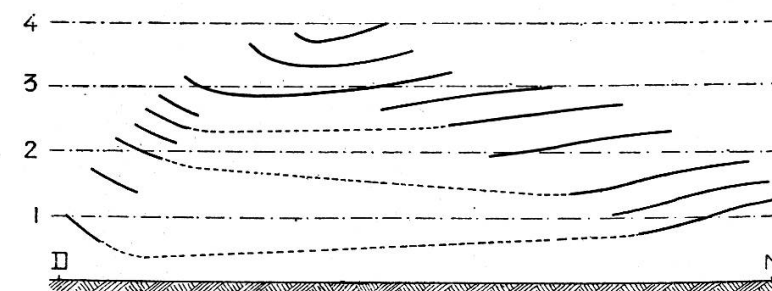


Fig. 10.

TABLELLE N° 14.

(B.)

D	N.R.	D	W	S	J	SB	B	L	M
2	<i>t</i>	tr. nua.	tr. nua.	bruine	p. nua.	couv.	clair	p. nua.	p. nua.
	<i>o</i>	20-50	20-50	0,05-0,2	20-50	4-10	10-20	10-20	2-4
	N	6-8	3-9	<i>x-x</i>	<i>x-3</i>	10-10	—	0-1	0-3
	<i>h</i>	10-15	3-6	0	<i>x</i>	6-10	—	> 25	> 25
	DF	NNW 5	W 10	WNW 22	NW 30	N 40	N 10	NNE 10	calme
3	<i>t</i>	p. nua.	nua.	nua.	p. nua.	tr. nua.	p. nua.	nua.	tr. nua.
	<i>o</i>	20-50	20-50	10-20	> 50	4-10	10-20	10-20	10-20
	N	1-1	1-3	<i>x-6</i>	<i>x-1</i>	9-9	1-3	0-6	6-8
	<i>h</i>	3-6	10-15	<i>x</i>	<i>x</i>	6-10	20-25	> 25	15-20
	DF	NW 2	E 10	NE 22	N 22	N 40	N 10	SSE 5	NNE 10
4	<i>t</i>	p. nua.	clair	p. nua.	p. nua.	clair	clair	p. nua.	p. nua.
	<i>o</i>	20-50	> 50	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	1-2
	N	1-1	—	0-1	<i>x-1</i>	—	—	0-1	3-3
	<i>h</i>	6-10	—	> 25	<i>x</i>	—	—	> 25	15-20
	DF	ENE 5	calme	NE 40	SE 10	S 10	calme	N 5	S 22
15	<i>t</i>	tr. nua.	fa. pl.	fo. pl.	couv.	tr. nua.	tr. nua.	tr. nua.	nua.
	<i>o</i>	> 50	20-50	0,05-0,2	> 50	2-4	10-20	10-20	10-20
	N	1-9	1-10	<i>x-x</i>	<i>x-10</i>	9-9	9-9	1-9	3-6
	<i>h</i>	6-10	15-20	0	<i>x</i>	10-15	20-25	0-10	15-20
	DF	S 2	calme	N 40	N 10	calme	N 10	ESE 15	E 5
26	<i>t</i>	nua.	p. nua.	nua.	p. nua.	p. nua.	clair	p. nua.	p. nua.
	<i>o</i>	10-20	> 50	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	1-2
	N	0-6	0-3	<i>x-8</i>	<i>x-3</i>	1-1	—	0-1	1-1
	<i>h</i>	> 25	> 25	<i>x</i>	<i>x</i>	15-20	—	> 25	15-20
	DF	N 2	E 10	WSW 32	N 10	N 10	calme	N 5	calme

Comme dans le cas précédent, à première vue on pourrait s'attendre à trouver encore plus d'unité dans les renseignements météorologiques. Les seuls caractères communs à ces différents jours sont:

- 1° La prédominance du vent du secteur N au Jungfrau-joch (J) et au S. Bernardino (SB);
- 2° L'absence de brouillard sur les sommets.

La comparaison des tabelles 11, 12 et 13, 14 met en évidence es quelques faits suivants:

Sous l'influence du gradient supérieur à 20 gr, la masse d'air est énergiquement élevée au N des Alpes, sur une assez grande étendue. La nature des masses d'air (mise en évidence par les températures de quelques postes alpestres):

TABELLE N° 15.

Date	Dubendorf 440 m		Weis- sen- stein 1285 m	Rigi 1787 m	Pilate 2068 m	Saentis 2500 m		Jungfrauoch 3454 m	
	T	H	T	T	T	T	H	T	H
22	°		°	°	°	°		°	
22	13,6	80	8	6	5	1	90	2	90
24	13,0	90	7	5	3	— 1	90	— 6	80

permet de comprendre les différences de caractère du temps. Du sol jusque vers 2000 m la masse d'air a peu changé; par conséquent elle se condense à la même hauteur, environ 1500 m, empêchant de pousser les sondages à plus haute altitude. L'air chargé de cette vapeur d'eau enveloppe les Alpes, d'où le brouillard au Saentis et au Jungfrauoch; le 24, l'air polaire ayant remplacé l'air maritime à plus de 3000 m, il suffira d'un faible affaissement de la masse, pour que le réchauffement adiabatique soit suffisant pour dissoudre les nuages au sein de l'air froid. Ce fait est confirmé par l'observation du S. Bernardino.

La cause de ce phénomène est que l'humidité spécifique de l'air, à égale humidité relative, diminue rapidement avec la température.

Le gradient étant plus faible (20-12 gr) la masse d'air sera moins énergiquement sollicitée à franchir les Alpes; le plafond est plus élevé comme le prouvent les sondages par ballons-pilotes.

Les 2 et 3, notre pays est inondé par de l'air polaire maritime qui remplace un courant continental.

Le 4, une masse d'air chaud et sec apparaît à plus de 2000 m; elle provoque une diminution générale de la nébulosité.

Une baisse sensible de température se produit entre le 14

et le 15; il semble qu'il faut l'attribuer à une faible dépression secondaire qui a franchi les Alpes au cours de la nuit.

Le 26, un anticyclone domine les Alpes; il se déplace peu. Ces quelques mots, complétés par la table n° 16, permettent de mieux comprendre le manque d'homogénéité apparente des observations.

TABELLE N° 16.

Date	Zurich		Weis- sen- stein	Rigi	Pilate	Saentis		Junfrauoch	
	T	H	T	T	T	T	H	T	H
	°		°	°	°	°		°	
2	15,6	60	8	5	4	0	> 90	— 4	50
3	17,0	60	9	6	4	0	> 90	— 3	70
4	16,6	70	11	8	6	4	> 50	3	30
15	17,8	70	11	8	7	5	> 90	0	90
26	12,0	80	11	11	9	6	> 50	0	60

*Troisième cas.* — Gradient de 12 à 4 gr.

TABELLE N° 17.

(A.)

D	L	H	Altitude en km					
			1	1,5	2	3	4	5
5	D	07	E 27	E 33	E 35	E 30	ENE 17	E 50
	M	—	NW 10	—	—	NNE 11	—	—
8	D	07	WSW 33	WSW 30	W 28	NNW 33	NNW 33	—
	M	—	NW 26	—	NNW 27	—	—	—
9	D	08	S 3	W 10	W 15	W 17	WNW 28	W 28
	M	—	N 2	—	—	NNW 10	—	—
12	D	07	WSW 25	W 13	—	—	—	—
	M	—	WSW 9	—	—	—	—	—
17	D	07	SW 14	W 42	W 33	—	—	—
	M	—	WSW 6	—	—	WSW 20	—	—
18	D	07	W 28	—	WSW 50	NW 33	WNW 75	—
	M	—	WSW 9	—	—	NW 35	—	—
19	D	07	W 17	—	W 42	W 37	W 40	W 44
	M	—	NE 10	—	—	W 22	—	—
23	D	07	W 35	—	—	—	—	—
	M	—	N 3	—	W 16	—	—	—
25	D	07	ENE 18	—	N 5	NW 16	NW 28	—
	M	—	—	NW 12	—	—	—	—

TABELLE N° 18 (B).

D	N.R.	D	W	S	J	SB	B	L	M
5	t	clair	clair	clair	clair	clair	clair	clair	clair
	o	20-50	> 50	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	2-4
	h	—	—	—	—	—	—	—	—
	N	—	—	—	—	—	—	—	—
	DF	calme	calme	NE 30	E 5	N 22	calme	N 5	calme
8	t	tr. nua.	clair	tr. nua.	broui.	clair	clair	clair	p. nua.
	o	> 50	> 50	2-4	0	10-20	10-20	10-20	4-10
	h	> 25	—	x	0	—	—	—	> 25
	N	0-9	—	x > 9	x-x	—	—	—	0-3
	DF	SSE 15	E 10	WSW 40	NW 30	N 10	calme	N 5	calme
9	t	p. nua.	p. nua.	p. nua.	p. nua.	p. nua.	clair	p. nua.	clair
	o	10-20	> 50	> 50	> 50	4-10	10-20	10-20	4-10
	h	> 25	> 25	x	x	> 25	—	> 25	—
	N	0-3	0-3	x-1	x-1	0-1	—	0-1	—
	DF	NE 5	SE 5	WSW 22	N 10	N 5	calme	NNE 5	calme
12	t	tr. nua.	p. nua.	broui.	broui.	p. nua.	p. nua.	p. nua.	couv.
	o	20-50	> 50	0,2-0,5	0	4-10	4-10	10-20	4-10
	h	15-20	> 25	0	0	15-20	15-20	> 25	15-20
	N	1-8	0-3	x-x	x-x	1-1	1-1	0-3	x-10
	DF	SSE 2	calme	SW 10	NW 15	N 10	N 10	N 5	calme
17	t	tr. nua.	fa. pl.	pl. mod.	neige	tr. nua.	nua.	clair	clair
	o	20-50	10-20	0,05-0,2	0	4-10	10-20	10-20	2-4
	h	10-15	10-15	0	0	15-20	20-25	—	—
	N	3-> 9	3-10	x-x	x-x	7-8	6-6	—	—
	DF	SSW 2	NW 10	WSW 50	W 10	S 10	N 5	NNE 2	calme
18	t	nua.	p. nua.	broui.	broui.	broui.	clair	clair	nua.
	o	> 50	20-50	0,05-0,2	0	0,2-0,5	10-20	10-20	2-4
	h	10-15	1-2	0	0	1-2	—	—	15-20
	N	3-7	1-1	x-x	x-x	x-x	—	—	3-3
	DF	SW 2	SE 10	WSW 70	W 30	N 10	calme	N 5	calme
19	t	nua.	nua.	broui.	p. nua.	p. nua.	clair	clair	clair
	o	> 50	> 50	0,5-1	> 50	10-20	10-20	10-20	4-10
	h	> 25	> 25	0	x	15-20	—	—	—
	N	0-6	0-6	x-x	x-1	1-1	—	—	—
	DF	SSE 2	SE 10	WSW 40	NW 15	N 5	N 5	N 2	E 5
23	t	couv.	couv.	broui.	broui.	couv.	p. nua.	nua.	p. nua.
	o	> 50	20-50	0,05-0,2	0	4-10	10-20	10-20	20-50
	h	6-10	15-20	0	0	10-15	20-25	20-25	10-15
	N	3-10	1-10	x-x	x-x	10-10	1-1	6-6	1-3
	DF	W 5	E 10	S 40	NW 60	N 10	N 10	NNE 10	calme
25	t	clair	clair	clair	clair	clair	clair	clair	nua.
	o	> 50	> 50	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	20-50
	h	—	—	—	—	—	—	—	10-15
	N	—	—	—	—	—	—	—	6-6
	DF	calme	E 10	NW 15	N 15	N 10	calme	N 10	SSE 5

Une fois encore nous retrouvons une « bulle » d'air froid. En général la déformation des surfaces isothermes par les Alpes est insignifiante, ces surfaces sont assez symétriques de part et d'autre de ces hautes montagnes; elles s'élèvent un peu au contact du massif alpin.

Les sondages du vent en altitude purent être poussés plus loin que dans les deux cas précédents; les vents prédominants sont ceux du secteur W à NW. Le temps fut régulièrement clair, ou tout au plus peu nuageux sur le versant S des Alpes. Le ciel fut plus ou moins chargé sur le versant N et les sommets des Alpes furent à plusieurs reprises dans le brouillard.

Les 5, 9 et 25 des anticyclones dominant les Alpes.

La forte nébulosité du 8 au Saentis et le brouillard au Jungfraujoch semblent être dûs à des courants de convection.

Le 12, dans les Alpes les nuages de convection atteignent déjà 2000-6000 mètres le matin; ils sont doublés d'une nébulosité orageuse en diverses couches qui augmentent au cours de la journée. Du 17 au 19, des dépressions passent sur le N de l'Europe et provoquent un fort courant d'W qui s'étend jusque sur le versant N des Alpes; il y crée une forte nébulosité (dont la quantité varie rapidement) qui donne même quelques précipitations.

Dès le 22, sous l'action d'une dépression qui se déplace sur la mer du Nord en direction du S, des masses d'air froid se pro-

TABELLE N° 19.

Date	Zurich		Weis- sen- stein	Rigi	Pilate	Saentis		Jungfraujoch	
	T	H	T	T	T	T	H	T	H
5	19	60	13	12	11	12	30	4	60
8	20	50	17	14	11	7	70	1	90
9	22	50	17	15	12	9	90	3	40
12	24	70	20	17	15	10	90	5	90
17	18	80	12	9	9	5	90	1	90
18	20	60	13	10	9	5	90	1	90
19	21	70	15	13	12	8	80	4	60
23	12	80	6	4	2	— 3	90	— 4	90
25	11	90	8	7	6	1	20	0	40

pagent vers la Suisse et l'atteignent le 23; le brouillard s'établit dans les Alpes et le ciel est couvert en dessus du Plateau suisse où la visibilité fut toujours bonne.

La table n° 19 donne quelques renseignements sur les températures observées à 07 h. 30.

*Quatrième cas.* — Gradient + 4 à — 4 gr par degré d'arc.

TABELLE N° 20.  
(A.)

Date	L	H	1	2	3	4	5	6
7	D	07	SW 23	—	—	—	—	—
	M	07	N 7	—	WNW 17	—	—	—
10	D	07	SW 5	W 14	W 18	W 27	W 25	W 20
	M	07	NNE 2	—	WSW 11	—	—	—
11	D	07	WSW 20	W 14	WSW 10	WSW 28	—	—
	M	07	NW 4	—	SW 4	—	—	—
14	D	07	SSW 12	W 35	W 30	W 20	W 25	WSW 25
	M	07	SE 11	—	WSW 2	—	—	—
16	D	07	SW 23	WSW 33	WNW 30	WSW 26	WSW 28	W 45
	M	07	S 11	—	WNW 4	—	—	—
28	D	07	ESE 11	E 8	NNE 20	NNE 32	NNE 40	—
	M	07	S 32	—	—	—	—	—

Il est assez étrange de constater que les surfaces isothermes s'affaissent en dessus des Alpes; c'est l'inverse de ce que nous avons vu dans le cas précédent. Est-ce bien réel ? Est-ce dû à la radiation nocturne ?

Aucune « bulle d'air froid » ne put être décelée.

Les caractères météorologiques de ces différentes journées sont:

- 1° Absence de précipitations;
- 2° Bonne visibilité sur le versant N des Alpes;
- 3° Prédominance des vents d'E à Weesen;
- 4° Prédominance des vents d'WSW au Saentis;
- 5° Ciel peu nuageux dans son ensemble et quelques brouillards, au Saentis seulement.

Les brouillards des 7 et 11 août au Saentis semblent dus à des

TABELLE N° 21.  
(B.)

D	N.R.	D	W	S	J	SB	B	L	M
7	<i>t</i>	nua.	p. nua.	broui.	clair	clair	nua.	tr. nua.	clair
	<i>ρ</i>	10-20	> 50	0,05-0,2	> 50	10-20	4-10	10-20	4-10
	<i>h</i>	> 25	> 25	0	—	—	20-25	> 25	—
	N	0-5	0-1	<i>x-x</i>	<i>x-0</i>	—	5-5	0-9	—
	DF	NW 5	E 10	WSW 40	N 22	N 10	calme	N 2	calme
10	<i>t</i>	clair	clair	p. nua.	nua.	nua.	p. nua.	p. nua.	clair
	<i>ρ</i>	20-50	> 50	> 50	> 50	4-10	10-20	10-20	4-10
	<i>h</i>	—	—	<i>x</i>	<i>x</i>	6-10	> 25	> 25	—
	N	—	—	<i>x-1</i>	<i>x-5</i>	5-5	0-1	0-3	—
	DF	calme	calme	SSW 15	W 5	S 10	calme	N 5	calme
11	<i>t</i>	nua.	tr. nua.	broui.	nua.	p. nua.	clair	p. nua.	clair
	<i>ρ</i>	20-50	> 50	0,2-0,5	> 50	10-20	10-20	10-20	2-4
	<i>h</i>	> 25	> 25	<i>x</i>	<i>x</i>	15-20	—	> 25	—
	N	0-5	0-9	<i>x-x</i>	<i>x-5</i>	1-1	—	0-1	—
	DF	NNW 5	calme	WSW 15	W 5	S 5	calme	N 5	calme
14	<i>t</i>	nua.	p. nua.	p. nua.	nua.	p. nua.	p. nua.	p. nua.	clair
	<i>ρ</i>	10-20	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	10-20	10-20
	<i>h</i>	> 25	> 25	<i>x</i>	<i>x</i>	6-10	20-25	> 25	—
	N	0-5	0-1	<i>x-1</i>	<i>x-5</i>	3-3	1-1	0-1	—
	DF	NW 2	E 5	WSW 22	NW 15	N 10	calme	S 5	E 10
16	<i>t</i>	nua.	clair	p. nua.	nua.	p. nua.	clair	clair	clair
	<i>ρ</i>	> 50	> 50	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	4-10
	<i>h</i>	> 25	—	<i>x</i>	<i>x</i>	—	—	—	—
	N	0-5	—	<i>x-1</i>	<i>x-8</i>	—	—	—	—
	DF	SE 2	E 10	WSW 30	N 10	N 5	calme	N 5	NE 5
28	<i>t</i>	p. nua.	clair	nua.	p. nua.	clair	tr. nua.	tr. nua.	tr. nua.
	<i>ρ</i>	10-20	> 50	> 50	> 50	10-20	4-10	10-20	10-20
	<i>h</i>	> 25	—	<i>x</i>	<i>x</i>	—	20-25	15-20	10-15
	N	0-1	—	<i>x-5</i>	<i>x-1</i>	—	8-8	9-9	8-8
	DF	NW 2	E 10	NE 22	NW 15	N 10	calme	NNE 5	NE 15

nuages de convection qui se sont développés sur les flancs de ce massif montagneux.

Les 7, 10, 11, 14, 16, 28 août les Alpes suisses sont toujours au voisinage d'un anticyclone, centré soit sur les Alpes, soit à leur voisinage immédiat (dans le secteur N à E par rapport à Berne).

La table 22 donne quelques renseignements sur les températures à 07 h. 30.

TABELLE N° 22.

Dates	Zurich	Weissenstein	Rigi	Pilate	Saentis	Jungfrau-joch
	T	T	T	T	T	T
	°	°	°	°	°	°
7	20,0	17	15	12	8	1
10	20,0	18	16	13	13	5
11	22,0	20	17	15	11	5
14	16,4	18	17	14	11	3
16	17,6	12	10	8	4	0
28	15,0	10	12	10	8	3

*Cinquième cas.* — Gradient supérieur à (— 4) gr par degré d'arc.

TABELLE N° 23.

(A.)

D	L	H	Altitude en km						
			1	1,5	2	3	4	5	6
21	D	—	—	—	—	—	—	—	—
	M	07	SE 8	—	—	—	—	—	—
29	D	07	E 12	—	NE 24	NNE 28	NE 44	—	—
	M	07	N 11	NW 14	—	—	—	—	—
30	D	07	E 5	ENE 15	—	—	—	—	—
	M	07	SE 28	—	—	—	—	—	—
31	D	07	W 15	—	N 20	NW 22	NW 49	NNW 28	NNW 30
	M	07	WNW 9	—	WNW 13	—	—	—	—

Ce cas ressemble beaucoup au précédent; la principale différence est que les isothermes s'abaissent davantage sur le versant S que sur le versant N.

Les 21, 29, 30 et 31 les Alpes suisses sont plus ou moins au centre d'un couloir dépressionnaire orienté du N vers le S; le 21, nos Alpes sont sur le bord occidental de ce couloir, le 29, sur le bord oriental, le 30 au centre et le 31, la haute pression de l'W envahit déjà la Suisse. Le 21, la Suisse allemande est balayée par l'extrémité méridionale d'un front qui a pénétré dans le couloir dépressionnaire. Les autres jours, le temps est

TABELLE N° 24.  
(B.)

D	N.R.	D	W	S	J	SB	B	L	M
21	<i>t</i>	fo. pl.	couv.	broui.	nua.	p. nua.	p. nua.	clair	couv.
	<i>ρ</i>	10-20	10-20	0,05-0,2	> 50	4-10	10-20	10-20	4-10
	<i>h</i>	1-2	3-6	—	<i>x</i>	20-25	15-20	—	6-10
	N	8-10	5-10	—	<i>x</i> -8	1-1	3-3	—	10-10
	DF	NNW 5	NW 40	E 10	W 25	N 5	S 10	N 5	S 5
29	<i>t</i>	tr. nua.	clair	tr. nua.	nua.	p. nua.	p. nua.	tr. nua.	nua.
	<i>ρ</i>	> 50	> 50	> 50	> 50	10-20	10-20	10-20	4-10
	<i>h</i>	> 25	—	<i>x</i>	<i>x</i>	15-20	20-25	> 25	15-20
	N	0-8	—	<i>x</i> -9	0-6	1-1	1-1	0-9	5-5
	DF	S 2	E 10	NNE 25	NNW 15	N 5	calme	N 5	NNE 5
30	<i>t</i>	nua.	p. nua.	nua.	nua.	broui.	couv.	couv.	couv.
	<i>ρ</i>	> 50	> 50	> 50	> 50	0,5-1	4-10	10-20	4-10
	<i>h</i>	> 25	> 25	<i>x</i>	<i>x</i>	10-20	15-20	> 25	6-10
	N	0-5	0-1	<i>x</i> -8	<i>x</i> -5	<i>x</i> -8	10-10	0-10	10-10
	DF	calme	E 10	N 15	N 30	S 5	calme	N 5	NE 15
31	<i>t</i>	nua.	clair	p. nua.	p. nua.	p. nua.	p. nua.	—	p. nua.
	<i>ρ</i>	20-50	> 50	> 50	> 50	> 50	> 50	—	4-10
	<i>h</i>	0,5-1	—	<i>x</i>	<i>x</i>	> 25	—	—	> 25
	N	< 1-8	—	<i>x</i> -3	<i>x</i> -3	0-1	—	—	0-3
	DF	calme	E 10	WSW 30	N 15	N 5	N 5	—	SW 10

assez semblable; on pourrait s'attendre à trouver cependant plus de nébulosité sur le versant sud.

Les températures mesurées à 07 h. 30 sont:

TABELLE N° 25.

Date	Zurich	Weissen- stein	Rigi	Pilate	Saentis	Jungfrau- jo
	T	T	T	T	T	T
21	15,0	9	10	9	6	0
29	12,4	12	11	10	2	2
30	12,8	12	10	9	5	— 1
31	13,4	13	9	8	3	— 2

De ces différentes tabelles 3-25 il faut dégager, si possible, encore mieux, l'influence du relief et de  $\Delta\rho$  sur l'effet général,

voilé par les modifications dues aux situations météorologiques momentanées, au lieu d'observation, etc.

Dans ce but, nous pouvons faire appel à deux genres de renseignements, à savoir ceux :

- a) En pleine atmosphère (plafond, visibilité, nébulosité, etc.);
- b) Mesurés sur les sommets (température, pression, humidité).

Reprenons le cas a).

#### *Plafond.*

La hauteur  $h$  du plafond est déterminée si possible à l'aide de points de repère sur les flancs des montagnes, ou simplement estimée. Dans ce dernier cas, des erreurs sont inévitables, elles sont de deux natures: les unes sont systématiques et personnelles, les autres sont accidentelles et croissent lorsque le plafond s'élève, ces dernières sont de l'ordre de  $\pm 0,2 h$ . Les observations faites sur les flancs des montagnes sont faussées par l'action de barrage (foehn ou accumulation nuageuse) due au relief.

#### *Visibilité.*

La visibilité possède souvent un caractère local. Dans certaines régions, faute d'objets suffisamment éloignés, il est difficile de l'estimer sans appareil de mesure (aucun de nos postes n'en possède).

#### *Précipitations.*

Celles-ci étant peu nombreuses, il faudrait disposer d'une série beaucoup plus grande d'observations pour ne pas tomber dans l'arbitraire.

#### *Nébulosité.*

Elle s'exprime en dixièmes de l'étendue visible du ciel; elle est estimée, mais il n'y a aucune difficulté à le faire. En particulier, à cause des erreurs probables d'estimation, ni la hauteur du plafond, ni la visibilité, ni les précipitations ne semblent indiquées pour mettre en évidence l'influence du gradient densité sur l'état de l'atmosphère; faute de mieux, prenons la nébulosité.

Parmi les postes météorologiques auxiliaires qui ont fourni des observations pour ce parcours, choisissons quatre stations (dont les situations sont aussi semblables que possible de part et d'autre des Alpes): Dubendorf et Lugano, Weesen et Bellinzone.

Additionnons les dixièmes de nébulosité totale pour chacun des cinq cas  $\Delta\rho > 20$ , etc., séparément et pour chaque station, puis formons les quotients:

$$\frac{\text{somme des dixièmes de nébulosité à Dubendorf}}{\text{somme des dixièmes de nébulosité à Lugano}} = \frac{D}{L}$$

et

$$\frac{\text{somme des dixièmes de nébulosité à Weesen}}{\text{somme des dixièmes de nébulosité à Bellinzone}} = \frac{W}{B}$$

En opérant de cette manière nous nous rendons indépendants de la situation météorologique et mettons en évidence l'influence alpestre. Les quotients sont contenus dans la tablelle suivante:

TABELLE N° 26.

Gradient	> 20	20 ÷ 12	12 ÷ 4	4 ÷ (-4)	(-4) ÷ (-12)
D/L	2,0	1,5	3,2	0,9	1,2
W/B	2,5	1,3	3,5	0,7	0,8

Cette tablelle permet de tirer les déductions suivantes: à part le troisième cas, les quotients D/L et W/B sont généralement d'autant plus différents de l'unité que l'intensité du gradient est élevée; en d'autres termes les quantités des nuages sont d'autant plus différentes de part et d'autre des Alpes que le gradient est important. Sur le versant où les nuages prédominent, il existe des courants ascendants qui se refroidissent adiabatiquement tandis que du côté où le ciel est dégagé les vents plongeants se réchauffent par le même processus.

Ces vents à composantes verticales nous ramènent au cas *b*) de la page 133. Ce qui nous intéresse, ce ne sont pas les valeurs de la température aux différents postes d'observations (car elles dépendent des situations météorologiques) mais leurs différences, provoquées par le gradient densité, entre diverses

stations. A cet effet, calculons pour chacun des cinq cas, séparément, les différences de température simultanées entre les postes du Saentis ou du Jungfrauoch et d'autres stations météorologiques, sans tenir compte des altitudes; les résultats sont donnés dans les tabelles 27 et 28.

D'autre part, pour posséder une base de comparaison, établissons les différences de températures moyennes mensuelles pour les mêmes postes. Les abbréviations employées dans les tabelles 27 et 28 signifient:

B = San Bernardino      M = Monte Bré      S = Saentis  
G = Monte Generoso      P = Pilate      W = Weissenstein  
J = Jungfrauoch      R = Rigi      Z = Zurich

dif-mens. = différence des températures moyennes mensuelles.

Z-S =      »      »      »      entre Zurich et le Saentis.  
Z-J =      »      »      »      entre Zurich et le Jungfrauoch.  
W-S =      »      »      »      entre le Weissenstein et le Saentis.

$n$  = nombre d'observations qui ont servi à établir les moyennes de températures.

TABELLE N° 27.

	$\Delta\varphi$	Z-S	W-S	R-S	P-S	B-S	G-S	M-S	$n$
1 <sup>er</sup> cas	> 20	12,6	7,5	5,5	4,0	4,9	11,5	15,6	2
2 <sup>me</sup> »	20-12	11,9	7,3	5,1	3,4	4,8	7,5	14,0	5
3 <sup>me</sup> »	12- 4	11,2	7,4	5,1	3,6	3,7	7,7	12,7	9
4 <sup>me</sup> »	4-(-4)	6,8	6,2	4,9	2,5	1,1	4,2	9,5	6
5 <sup>me</sup> »	$(-4) \div (-12)$	7,6	6,4	5,0	3,7	2,6	4,9	10,1	4
dif. mens.		9,7	6,9	5,0	3,3	3,4	6,7	12,0	31

TABELLE N° 28.

	Z-J	W-J	R-J	P-J	S-J	B-J	G-J	M-J	$n$
1 <sup>er</sup> cas	14,5	9,5	7,5	6,0	2,0	6,9	13,5	17,6	2
2 <sup>me</sup> »	15,4	10,8	8,6	6,9	3,5	8,3	11,0	17,5	5
3 <sup>me</sup> »	15,6	11,8	9,5	8,0	4,4	8,1	12,1	17,1	9
4 <sup>me</sup> »	13,5	12,9	11,6	9,2	6,7	7,8	10,9	16,2	6
5 <sup>me</sup> »	13,1	11,9	10,5	9,2	5,5	8,1	10,4	15,6	4
dif. mens.	15,6	11,8	9,9	8,1	4,9	7,2	11,6	16,9	31

Les écarts thermiques indiqués dans la table 27 passent tous par un minimum lorsque le gradient est voisin de zéro (quatrième cas); ils croissent si  $\Delta\rho$  augmente; ils sont un peu moins importants entre le Saentis et les postes situés sur le versant N qu'entre le Saentis et les stations du Tessin. Pour une valeur donnée du gradient, les écarts thermiques sont d'autant plus importants que les différences d'altitude sont considérables. Toutes proportions gardées, on pourrait s'attendre à trouver des résultats semblables dans la table n° 28, il n'en est cependant pas ainsi. Sur le versant N, les écarts thermiques passent par un maximum et non pas un minimum si le gradient est voisin de zéro, tandis que sur le versant S c'est presque l'inverse. Entre le Jungfrauoch et une autre station quelconque de la Suisse allemande les écarts thermiques varient généralement en sens inverse du gradient densité, ils croissent si ce dernier tend vers zéro et vice-versa. Pour une valeur donnée du gradient, les écarts thermiques croissent si les différences d'altitude augmentent.

Quelle peut être la cause de cette divergence entre les tables 27 et 28 ? Y a-t-il contradiction ou sont-ce deux phases du même phénomène ? D'après les quatre premières lignes de la colonne S-J on peut avoir l'impression que l'air au Jungfrauoch est d'autant plus chaud que  $\Delta\rho$  est grand. Un contrôle de cette hypothèse prouve l'inverse, comme l'indique la table n° 29.

TABELLE N° 29.

Gradient	> 20	20-12	12-4	+ 4 à — 4	— 4 à — 12
Température Saentis. .	°	°	°	°	°
Température Jungfrau- joch . . .	0	+ 3,0	+ 6,0	+ 9,0	+ 4,0
	— 2	— 0,8	+ 1,6	+ 3,0	— 0,2

Cette constatation rend, si ce n'est impossible, du moins négligeable l'influence que pourrait avoir une accumulation d'air (au N de la ligne de faite des Alpes) s'étendant à plus de 3500 m. Si cette accumulation était d'autant plus importante, plus élevée que le gradient  $\Delta\rho$  est fort, le réchauffement

de l'air s'écoulant vers le S, serait d'autant plus grand que l'air s'affaiblirait davantage pour arriver à 3500 m. Les températures au Jungfraujoch devraient donc diminuer en même temps que le gradient.

L'interprétation des tabelles 27 et 28 est délicate car les différences de températures ne sont pas ramenées à une différence constante d'altitude. Transformons ces deux tabelles et calculons les gradients thermiques correspondants; ils sont exprimés en degrés par km dans les tabelles 30 et 31.

TABELLE N° 30.

	Z-S	W-S	R-S	P-S	B-S	G-S	M-S
	°	°	°	°	°	°	°
1 <sup>er</sup> cas	6,3	6,2	7,7	9,3	11,4	11,6	9,8
2 <sup>me</sup> »	6,0	6,0	7,2	7,9	11,2	7,6	8,8
3 <sup>me</sup> »	5,6	6,1	7,2	8,4	8,8	7,8	8,0
4 <sup>me</sup> »	3,4	5,1	6,9	5,8	3,5	4,3	6,0
5 <sup>me</sup> »	3,8	5,3	7,0	8,6	6,1	5,0	6,4

TABELLE N° 31.

	Z-J	W-J	R-J	P-J	S-J	B-J	G-J	M-J
	°	°	°	°	°	°	°	°
1 <sup>er</sup> cas	4,9	4,4	4,5	4,3	2,1	4,9	7,3	7,0
2 <sup>me</sup> »	5,2	5,0	5,2	5,0	3,7	6,0	6,0	7,0
3 <sup>me</sup> »	5,3	5,4	5,7	5,8	4,6	5,8	6,5	6,7
4 <sup>me</sup> »	4,6	6,0	7,0	6,6	7,0	5,6	5,9	6,4
5 <sup>me</sup> »	4,4	5,9	6,3	6,6	5,8	5,8	5,6	6,1

Ces deux tabelles permettent de tirer les remarques:

A. *Versant N.*

- a) Les surfaces isothermes sont d'autant plus resserrées du Plateau suisse (450 m) à l'altitude du Saentis (2500 m) que le gradient  $\Delta\rho$  est fort;

Pour une valeur quelconque de  $\Delta\rho$ , elles sont inégalement espacées; elles sont plus resserrées entre 2000 et 2500 m qu'entre 500 et 1000 m;

- b) De l'altitude du Plateau suisse à celle du Jungfraujoch (3400 m) les phénomènes semblent se compliquer; pour les trois premiers cas, les surfaces isothermes s'éloignent généralement lorsque les différences d'altitude diminuent; pour les deux autres cas c'est assez exactement l'inverse; D'une manière générale les surfaces isothermes sont d'autant plus resserrées que  $\Delta\rho$  est faible.

B. *Versant S.*

- a) Du Tessin à l'altitude du Saentis (2500 m) les surfaces isothermes sont également d'autant plus resserrées que  $\Delta\rho$  est grand; pour les trois premiers cas, les surfaces isothermes sont plus éloignées au voisinage du sol qu'en altitude; pour le 4<sup>me</sup> cas c'est l'inverse; pour le 5<sup>me</sup> cas l'altitude ne semble jouer aucun rôle;
- b) De l'altitude du Tessin à celle du Jungfrauoch (3400 m) les surfaces isothermes sont en général plus resserrées au voisinage du sol qu'en altitude; elles sont d'autant plus espacées que  $\Delta\rho$  est faible.

Ces remarques montrent la profonde influence du gradient  $\Delta\rho$  et du relief sur la répartition des surfaces isothermes.

Il serait intéressant de vérifier si ces phénomènes se retrouvent en pleine atmosphère et s'ils possèdent les mêmes caractères. Actuellement les seuls matériaux auxquels nous pouvons faire appel sont ceux des vols commerciaux d'août 1933.

Déterminons dans l'espace les différents gradients thermiques rencontrés. Le plus simple est de faire ce travail graphiquement pour chacun des cinq cas envisagés antérieurement. Le résultat de cette analyse est représenté par les figures 11 à 15. Elles furent obtenues de la manière suivante.

Les trajectoires de chaque vol ont été dessinées à l'aide des renseignements des pages 31 à 36. Les différences de température entre les altitudes 1000-500, 1500-1000, etc. ont été calculées, traduites en gradient et inscrites aux altitudes 750, 1250 m, etc. Les gradients égaux ont ensuite été réunis par des courbes.

Un examen d'ensemble des figures 11 à 15 permet de tirer les remarques générales suivantes:

- a) Chaque jour, dans la région Disentis-Ober-Yberg, l'avion semble avoir traversé une zone de très faibles gradients thermiques. Son existence s'explique aisément par l'influence de la compression des filets d'air sur le gradient thermique hors de la zone d'influence des Alpes (par exemple  $\Delta T = 0,7$  très au large des Alpes, premier filet élevé de 1000 à 1500 m, deuxième filet élevé de 800 à 1400 m d'où:  $\Delta T = 0,5$ ). D'autre part, dès l'instant où le pilote eut atteint une altitude suffisante pour traverser

les Alpes, la trajectoire de l'avion fut en général plus ou moins horizontale et ne coupa probablement qu'un nombre restreint de filets d'air. Certains vols, pourtant, furent accompagnés d'importantes et rapides variations d'altitude, dans cette région;

- b) Sur le versant S, les gradients sont maxima; ils sont supérieurs ou du moins égaux à ceux du versant N. Pour les trois premiers cas il est naturel qu'il en soit ainsi puisque l'air ascendant (en Suisse allemande) se refroidit de  $1^{\circ}$  environ par 100 m aussi longtemps qu'il n'est pas saturé; dès le point de rosée, le refroidissement est inférieur à  $1^{\circ}$  par 100 m, comme l'indique la table n° 32. Au Tessin, l'air plongeant se réchauffa de  $1^{\circ}$  environ par 100 m.

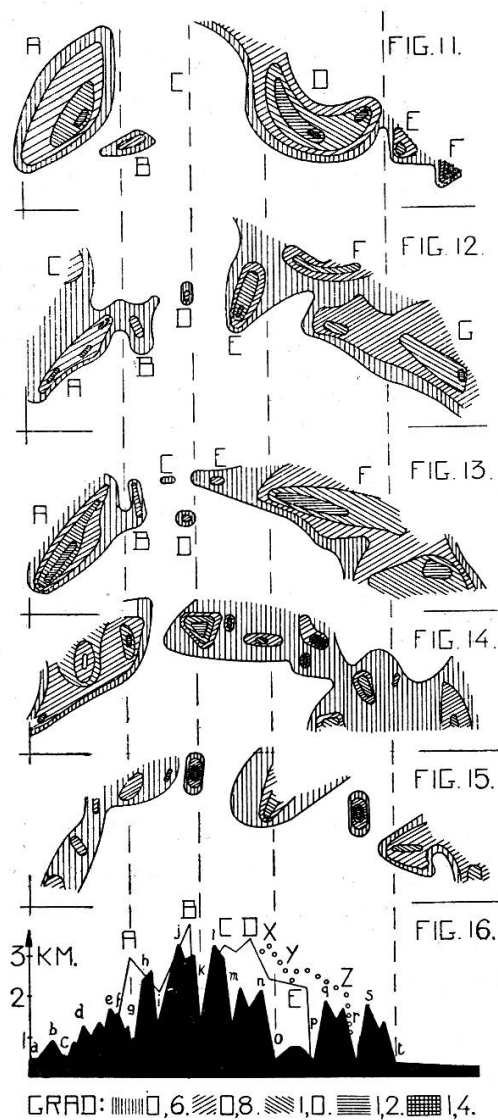


TABELLE N° 32.

*Gradient thermique de l'air saturé.*

Pression	— 30°	— 20°	— 10°	0°	10°	20°
mm						
760	0,93	0,86	0,76	0,63	0,54	0,45
600	0,92	0,83	0,71	0,58	0,49	0,40
400	0,89	0,77	0,63	0,50	0,42	

Dans ce qui suit, nous n'introduirons pas de corrections pour réduire les gradients des figures 11 à 15, à un couple de valeurs uniques de comparaison, par exemple:

Pression = 600 mm de Hg  
Température = 0°

- c) La profonde influence que le relief alpin exerce sur le gradient thermique, déterminé expérimentalement par épaisses tranches de 500 m, est surprenante. Pour permettre de bien se rendre compte de cette influence, une coupe du profil des Alpes de Zurich à Milan est jointe aux figures 11 à 15.

Ce profil est dessiné en noir sur la figure 16.

Pour permettre de s'orienter facilement sur cette coupe, quelques endroits sont indiqués par des lettres:

<i>a</i> = vallée de la Glatt	<i>k</i> = Disentis
<i>b</i> = région du Pfannenstiel	<i>l</i> = Scopi
<i>c</i> = lac de Zurich	<i>m</i> = Val de Brenno
<i>d</i> = Hohe Rhone	<i>n</i> = Pic di Molare
<i>e</i> = Nebeckenalp	<i>o</i> = Val Leventina
<i>f</i> = près de Holzegg	<i>p</i> = Bellinzona
<i>g</i> = Muotathal	<i>q</i> = région du Monte Ceneri
<i>h</i> = Ross-Stock	<i>r</i> = Lac de Lugano
<i>i</i> = Schächenthal	<i>s</i> = Monte Generoso
<i>j</i> = Scheerhorn	<i>t</i> = Como

Ce profil est complété par deux autres coupes, l'une à l'est (gros trait), l'autre à l'ouest et seulement au S des Alpes (petits cercles). Les lettres désignent:

A = Glaernisch	E = Monte Camoghe
B = Tödi	X = Campo Tencia
C = Medel	Y = Carmosino
D = Rheinwaldhorn	Z = il Madone

- d) Au voisinage du sol, en particulier dans la plaine du Pô, les gradients passent par un maximum « local » correspondant aux nappes d'air surchauffées;
- c) Les gradients maxima sont souvent supérieurs à un.

Ils sont supérieurs aux gradients adiabatiques maxima possibles pour un filet d'air. Au cours des vols transalpins, l'avion traverse une infinité de ces filets, en particulier aux endroits où ils sont comprimés par le relief des Alpes. Le gradient thermique mesuré à bord de l'aéronef peut donc être supérieur à 1, en particulier s'il était inférieur à 0,5 avant que l'air fut élevé.

Outre la compression des filets aériens, d'autres phénomènes météorologiques peuvent contribuer à donner une valeur supérieure à 1 au gradient thermique, par exemple, prenons le cas d'une précipitation:

Une averse dans la masse d'air ascendant ne peut produire qu'une anomalie locale et passagère du gradient. En effet, si pour une raison quelconque, une averse se produit dans le courant ascendant, elle provoquera un réchauffement  $\Delta T'$  de cette masse d'air, par conséquent une discontinuité avec l'atmosphère environnante.

Cette différence de température subsistera même si cet air est encore élevé ou abaissé; il est bien évident qu'elle s'affaiblira lentement par échanges caloriques avec les masses d'air environnantes plus froides. Si nous admettons qu'une lecture est faite dans le corps d'air réchauffé, entraîné par le courant ascendant ou descendant, et si la mesure suivante est exécutée dans l'air environnant, le gradient thermique réel  $\Delta T_r$  sera:

$$\Delta T_r = \Delta T' \pm \Delta T_a$$

$\Delta T_a$  = gradient adiabatique.

Le signe + correspond, par exemple, au cas où la  $n^e$  mesure a lieu dans l'air réchauffé plongeant tandis que l'avion s'élève et la  $(n + 1^e)$  mesure dans l'air environnant, etc.

L'évolution thermique de l'atmosphère entre deux lectures consécutives (séparées tout au plus par 5 à 10 minutes) ne

joue certainement qu'un rôle très minime, pratiquement négligeable.

La contraction des filets doit créer des anomalies stationnaires, fixes dans l'espace, tandis qu'une averse ne doit produire qu'un trouble passager et migrateur.

f) Le sommet du Saentis fut toujours dans la zone des forts gradients existant sur le versant N.

Avant de considérer chacune des figures rappelons que les gradients thermiques, déterminés en pleine atmosphère, sont approximativement égaux à ceux existant réellement.

En effet, les trajectoires de l'avion ne furent pas verticales mais plus ou moins parallèles aux surfaces isothermes. Dans les remarques qui suivent nous ne tiendrons pas compte de cette erreur, car elle est plus ou moins identique pour tous les cas.

*Premier cas.* —  $\Delta\rho > 20$  gr à 1710 m, figure n° 11.

Les zones de même valeur des gradients thermiques sont massives, les maxima sont:

1,2 sur le versant N,  
1,4 sur le versant S.

A part quelques anomalies locales, ce violent courant ne semble pas avoir été influencé par le détail du relief.

Les courants ascendants se sont étendus loin au N des Alpes (zone A); ils s'inclinèrent de plus en plus sur l'horizon et franchirent les montagnes (zone C), puis s'incurvèrent sur la plaine du Tessin (zone D). Trois influences locales sont à signaler:

- a) La zone surchauffée (F) au voisinage du sol dans la plaine;
- b) L'influence de la région du Monte Ceneri (zone E);
- c) La zone B qui correspond à la vallée supérieure de la Reuss.

La zone C est très large; dans cette région les filets aériens sont très serrés.

*Deuxième cas.* —  $\Delta\rho$  compris entre 20 et 12 gr à 1710 m, figure n° 12.

L'écoulement est moins homogène que dans le cas précédent. L'influence locale des montagnes ou des vallées semble agir plus profondément sur l'écoulement. Les maxima sont moins forts de part et d'autre des Alpes.

Les maxima secondaires en B, D et E semblent bien localisés et dus aux chaînes du Ross-Stock, du Scheerhorn et au massif du Scopi.

On pourrait se demander si les zones B, D et E ne devraient pas être reliées d'une manière continue à A et G, mais d'après les renseignements à disposition, j'ai l'impression qu'il est préférable de les maintenir séparées. En dessus des Alpes se retrouve une zone de faibles gradients; son extension verticale est confirmée en particulier par un vol qui la traverse sous un grand angle.

En G et F nous retrouvons deux îlots de forts gradients.

La zone F est déterminée par quatre trajectoires tandis que la zone G ne l'est que par une seule, le 15.VIII; ce matin-là il pleuvait à Weesen et au Saentis; ces précipitations sont peut-être responsables de la zone intermédiaire du gradient 0,6 entre A et G.

Jusqu'à présent je n'ai trouvé aucune explication satisfaisante de l'existence de la zone F.

*Troisième cas.* —  $\Delta\rho$  compris entre 12 et 4 gr à 1710 m, figure n° 13.

Comme dans le cas précédent, l'influence locale des montagnes et des vallées semble agir profondément sur le gradient thermique.

Les gradients maxima sont égaux de part et d'autre des Alpes. Les maxima B, D et E semblent correspondre à ceux du deuxième cas. La zone de faible gradient en dessus des Alpes est moins étendue que dans le cas précédent; quelques vols, accompagnés d'une rapide variation d'altitude prouvent que ces faibles gradients ne sont pas dus à une coïncidence entre la courbure des filets d'air et la trajectoire de l'avion. L'influence

de la zone surchauffée au voisinage du sol, dans la vallée du Pô, est très apparente.

Les pluies ou averses du 17 ne paraissent pas avoir influencé l'écoulement des masses d'air.

*Quatrième cas.* —  $\Delta\rho$  inférieur à 4 gr, mais dirigé soit du N vers le S, soit du S vers le N, figure n° 14.

Cette figure présente un tout autre caractère que les autres, elle est asymétrique. Les gradients thermiques supérieurs à 0,6 forment généralement des îlots, localisés en dessus des vallées, les maxima se trouvant entre 2000 et 2500 m.

La zone de faibles gradients est très réduite et moins homogène que dans les cas précédents.

Sur le versant N, les gradients supérieurs à 0,8 forment une aire relativement homogène.

*Cinquième cas.* —  $\Delta\rho$  compris entre —4 et —10 gr gradient S-N, à 1710 m, figure n° 15.

Ce cas ressemble beaucoup au précédent, les gradients moyens ou forts forment des îlots très disséminés, séparés par plusieurs zones quasi isothermiques.

Il est tout différent du troisième cas; il est surprenant de constater qu'il en est ainsi puisque l'intensité des gradients est plus ou moins identique et que seule l'orientation de  $\Delta\rho$  diffère:

N-S dans le troisième cas.

S-N dans le cinquième cas.

De cette remarque il faudrait donc conclure que l'action des Alpes est inégale suivant que le courant est dirigé du S vers le N, ou du N vers le S.

#### CONCLUSIONS.

Les mesures thermiques effectuées au cours des vols commerciaux Zurich-Milan et retour, en août 1933, sont suffisamment précises pour nous permettre de nous former une idée

des déformations et des répartitions des surfaces isothermiques de part et d'autre des Alpes.

Les Alpes modifient profondément l'état thermique des masses d'air dont elles sont enveloppées; à cette action s'ajoute celle de la composante du gradient densité  $\Delta\rho$  orientée du NNW au SSE à 1700 m environ; si  $\Delta\rho$  est grand, l'influence de détail du relief sur l'écoulement aérien est moins apparente et vice versa si  $\Delta\rho$  est faible, l'influence du relief se manifeste davantage. L'état thermique des masses d'air qui environnent les Alpes dépend donc des deux facteurs:

Influence orographique,  
Influence du gradient densité.

De part et d'autre des Alpes s'étendent des zones d'influence assymétriques, très étendues tant verticalement qu'horizontalement, dont la forme est influencée par l'intensité et la direction du gradient. Ces zones d'influences rendent illusoire l'emploi du gradient pression (qui ne tient pas compte des variations de température à l'altitude de référence) et motivent l'emploi du gradient densité  $\Delta\rho$  pour le calcul des vents théoriques. En dessus des Alpes les courants aériens ne semblent pas être perpendiculaires à  $\Delta\rho$  comme ce devrait être le cas d'après la théorie générale pour l'atmosphère libre. L'écoulement paraît avoir lieu parallèlement à l'axe NNW à SSE si la composante de  $\Delta\rho$ , parallèle à ces directions, est bien différente de zéro. Les gradients thermiques maxima ne se rencontrent ni près du sol, ni en dessus des sommets, mais à moyenne altitude et à plus de 10 km des flancs des montagnes.

Le relief crée des anomalies stationnaires dans l'écoulement de l'air en dessus des Alpes, tandis que les averses, par exemple, provoquent des troubles passagers et migrants.

Avec le peu de matériel dont nous disposons, la question de l'origine des « bulles » d'air froid au sommet des vallées reste encore insoluble; il s'agit peut-être simplement d'inversion thermique ou d'un écoulement secondaire intermittent ou non remontant les vallées transversales et débouchant dans le courant général.

Au cours de cette analyse, il a été nécessaire de calculer la direction et l'intensité du gradient pression à diverses altitudes; nous avons constaté qu'elles varient beaucoup.

La question du foehn, liée au gradient thermique vertical et au gradient horizontal de pression, nous mènerait trop loin. Elle sera traitée dans une note spéciale.

Rappelons encore que ces conclusions sont en accord avec:

- a) les résultats théoriques établis par le Prof. Ackeret sur l'écoulement horizontal de l'air dévié vers le haut par un seul plan incliné;
- b) les déductions théoriques de Gockel sur la répartition de l'intensité des précipitations sur les flancs de montagnes à profil simple;
- c) plusieurs notes récentes de W. Peppler sur l'évolution des températures au Saentis et en atmosphère libre.

Les conclusions pratiques pour l'aéronautique se déduisent facilement des pages précédentes:

- a) le maximum de fréquence de la nébulosité est à une certaine distance des flancs des Alpes;
- b) les zones de forts gradients thermiques correspondent aux régions d'intensité maximale de pluies;
- c) les grands courants à importante composante verticale sont à moyenne altitude, au large des montagnes;
- d) les givrages les plus dangereux devraient généralement se rencontrer de part et d'autre des Alpes.

Zurich, 1934-1935.

P. S. — M. E. Gerber, pilote du Fokker à bord duquel ces mesures de températures furent effectuées, a été victime de son devoir en exécutant un vol postal nocturne; le 30 avril 1936 son avion a percuté les rochers du Rigi, en pleine vitesse.

---