

Zeitschrift: Archives des sciences physiques et naturelles
Herausgeber: Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève
Band: 14 (1932)

Artikel: Sondages aérologiques et vent au gradient en Suisse
Autor: Berger, Pierre
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-740778>

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: 16.07.2025

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

SONDAGES AÉROLOGIQUES

ET

VENT AU GRADIENT EN SUISSE¹

PAR

Pierre BERGER

(Avec 54 figures.)

1. — INTRODUCTION.

La fréquence croissante et la longueur de plus en plus grande des vols sans escale, en particulier de ceux au-dessus du brouillard, dans les nuages ou au-dessus de ces derniers, exigent des connaissances aussi exactes que possible des courants aériens et de la hauteur de la base des masses nuageuses.

Le pilote choisit pour naviguer l'altitude où le vent lui est le plus favorable en force et direction.

Si le vol a lieu dans les nuages ou simplement sans visibilité de la terre, la connaissance du vent en altitude est un élément important de la sécurité aérienne, surtout dans les pays montagneux. Lors d'un pilotage sans visibilité, à l'insu du pilote, le vent peut pousser l'avion contre les montagnes. De graves accidents entre Insbruck et Zurich en 1930, et d'autres précédemment dans les Alpes suisses, ont confirmé tristement cette possibilité.

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

La détermination du « point », à bord d'un avion volant sans visibilité de la terre, ne peut pas toujours être faite avec toute la précision voulue par voie électrique.

Les études de P. Duckert ^{1, 2} sur la déviation que subissent les ondes électro-magnétiques passant au-dessus des côtes ou au travers de fronts météorologiques, montrent que les relevés radio-goniométriques peuvent être faussés par des phénomènes physiques.

Les bulletins privés de la « Deutsche Lufthansa », qui concernent le service radio-électrique, indiquent que les relevés radio-goniométriques entre une station terrestre et une station d'aéronef peuvent subir d'importantes erreurs, au crépuscule en particulier.

Nombreux sont les télégraphistes de bord, en service sur le parcours Genève-Marseille, qui ont relevé le fait que le poste émetteur de Cointrin cessait brusquement d'être audible dans la région du Mont-Ventoux. Tout se passe comme si une montagne de cette région absorbait presque complètement les ondes électro-magnétiques venant de Cointrin. Il suffit de s'éloigner de cette zone pour que le phénomène disparaisse aussitôt.

D'autre part, pendant la saison froide, le verglas qui se dépose sur l'antenne et qui parfois la soude à la masse de l'avion, peut mettre l'installation radio-électrique de bord hors d'usage. Il est donc souhaitable que les courants aériens soient toujours connus jusqu'à 2000, 3000 ou 4000 mètres, quel que soit le temps, et surtout s'il est mauvais, si les nuages inférieurs sont à faible hauteur (100 à 300 mètres).

Actuellement, autant qu'il est possible, la force et la direction du vent sont déterminées aux diverses altitudes à l'aide de ballons-pilotes, suivis d'un seul poste. Ce n'est plus faisable si le brouillard règne à la station où le sondage devrait s'effectuer

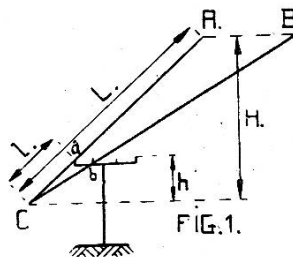
¹ Zur Frage der Küstenbrechung und Peilschwankungen elektromagnetischer Wellen. *Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre*. Band 14.

² Abhängigkeit der Funkbeschickung von meteorologischen Einflüssen. *Mitteilungen des aeronautischen Observatoriums Lindenberg*. Oktober 1927, Mai 1928.

ou si le ciel est couvert très bas. Aux environs ou en altitude les avions voleront quand même.

La détermination de la force V du vent, à l'aide des observations néphoscopiques est très aléatoire. Ces mesures se font de la manière suivante (fig. 1):

Le bras de la herse est placé parallèlement à la direction du déplacement d'un nuage. Un point saillant est relevé, par exemple A dans le prolongement de la dent a ; Θ secondes plus tard le point A sera sur le prolongement de Cb en B . L'observateur en C doit rester immobile pendant le déplacement du nuage de A en B . Le principe de ces mesures est basé sur les relations géométriques :



$$\frac{ab}{AB} = \frac{l}{L} = \frac{h}{H} ,$$

d'où:

$$AB = \frac{ab}{h} \cdot H .$$

En général, la distance ab de la herse est de 20 cm et la hauteur h approximativement de 200 cm. H est estimé.

AB est le chemin D que le nuage a parcouru en Θ secondes, à la vitesse W .

$$D = \Theta \cdot W = AB .$$

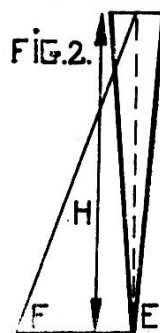
En introduisant cette valeur dans l'équation $AB = ab \cdot H : h$, on a :

$$W = \frac{ab}{\Theta} \cdot \frac{H}{h} .$$

La facteur $\frac{ab}{\Theta}$ est connu avec exactitude.

h peut être obtenu avec précision, mais n'est pas indépendant de la taille de l'observateur, comme il est souvent admis.

H pourrait être évalué à l'aide d'un télémètre ou, dans certains cas, si le ciel est sombre, en employant un projecteur vertical placé en E (fig. 2).



La tache lumineuse qu'il provoque sur les nuages est visée d'un point terrestre F.

Si EF est connu, la hauteur H est donnée par: $H = (EF) \cdot \operatorname{tg} \alpha$, où α est l'angle de la ligne de visée avec FE.

La hauteur des nuages peut être encore déterminée à l'aide de deux clichés pris simultanément de deux postes différents. La précision est de 1 à 2%. Cette méthode est assez coûteuse. La restitution des résultats est longue.

Les observations de la hauteur des nuages le long des montagnes sont trompeuses, comme nous le verrons plus tard.

En général (c'est presque la règle) H est simplement évalué. C'est pour cette raison qu'il ne faut pas attribuer trop d'importance aux mesures néphoscopiques.

Il est donc intéressant d'essayer de trouver un moyen qui donne régulièrement les renseignements nécessaires concernant le vent, non seulement à la base des nuages ou plus bas, mais *plus haut*.

La précision des mesures aérologiques, à l'aide des ballons-pilotes, est si variable dans notre pays, qu'il n'est pas possible de lui attribuer toute l'importance désirable.

Le temps nécessaire à un sondage supérieur à 3000 mètres est long; il n'est pas possible d'en faire souvent.

De temps à autre, les ballons-pilotes sont employés sur certains aéroports pour déterminer avec plus ou moins de précision, la hauteur des nuages bas. En général, ils ne donnent pourtant pas grande satisfaction pour ces mesures de faible altitude. Au voisinage des aérodromes, la connaissance exacte de ce renseignement est très importante pour les pilotes qui volent sans visibilité et qui doivent percer la couche nuageuse avant d'atterrir.

Les renseignements de hauteur « du plafond » à transmettre aux pilotes doivent correspondre à la situation actuelle et pouvoir être très rapidement renouvelés; il faut si possible indiquer la hauteur d'une surface et non d'un point unique. Si le ciel est voilé par des strato-cumulus, le ballon-pilote peut tout aussi bien disparaître dans l'intervalle laissé libre entre deux masses cumuliformes que dans l'une de celles-ci. La hauteur, déduite des observations, ne correspondra pas à la réalité. Pour ces

raisons, un puissant projecteur à faisceau orientable est bien préférable.

Le prix assez élevé des ballons et de l'hydrogène, limite aussi leur emploi.

En Suisse, grâce aux nombreuses stations météorologiques, disséminées dans les montagnes, et aux observations météorologiques synoptiques de trois en trois heures, il est possible de calculer régulièrement la force et la direction du vent à différents niveaux, quels que soient la visibilité et le plafond des nuages inférieurs.

La présente étude a pour but de comparer entre elles deux méthodes essentielles pour notre pays:

- a) Détermination du vent par ballons-pilotes;
- b) Détermination du vent à l'aide des stations de montagnes.

2. — RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX.

Avant de résumer les principales études étrangères, il n'est pas superflu de rappeler quelques observations journalières.

Même par air parfaitement calme, les ballons-pilotes semblent ne pas posséder une vitesse ascensionnelle constante. Elle croît assez brusquement toutes les deux à huit secondes pour diminuer ensuite.

Puisque les ballons-pilotes sont sphériques ou presque, que le centre de gravité est en dessous du centre de poussée, ils devraient être stables pendant leur ascension. Au contraire, il est facile de constater, à l'aide d'un théodolite, un mouvement oscillatoire accentué. Outre ces variations de courte durée, au cours de certaines ascensions les ballons donnent l'impression de monter pendant plusieurs minutes avec une vitesse toute différente de celle prévue. J'ai observé ce phénomène tout récemment, le 2.V.1932 à Dubendorf. Au cours de la première minute, au lieu de monter régulièrement de 1,7 m/sec, le ballon s'est déplacé horizontalement, dans la direction de la colline de Wangen, pendant près de 40 à 45 sec. La restitution du sondage donne:

Tranche au-dessus du sol	Direction	Vitesse en m/sec
0-100 m	WSW	41
100-200 m	N	1
200-300 m	WSW	3

En réalité, une faible brise de quelques m/sec soufflait aux environs du sol. L'erreur de la première minute est due à une vitesse ascensionnelle toute différente de celle prévue. Ce phénomène peut apparaître à n'importe quelle altitude, mais il n'est pas toujours aussi facilement contrôlable que dans l'exemple qui vient d'être cité.

Les résultats des sondages effectués à l'aide d'un seul théodolite (cette méthode d'observation est très générale) sont obtenus en admettant une vitesse ascensionnelle V constante. Cette hypothèse fut admise au cours des premières expériences en locaux fermés. Les formules établies, à l'aide de ces renseignements, ne peuvent pas être employées pour les sondages en air libre, les conditions n'étant pas identiques. Dans les églises qui ont servi de laboratoires, l'air était parfaitement tranquille et avait la même température du sol au sommet de la nef.

Dans l'atmosphère libre, la température varie irrégulièrement avec l'altitude; le vent brasse l'air et lui communique une certaine turbulence.

Théoriquement, il n'est pas possible d'admettre une vitesse ascensionnelle constante pour les ballons-pilotes ou pour les ballons-sondes. Il n'est pas davantage en notre pouvoir de calculer cette vitesse avec précision du commencement à la fin de chaque ascension.

Pour étudier la variation de la vitesse ascensionnelle, il n'est pas possible de prendre pêle-mêle tous les matériaux à disposition. Il est utile de séparer les essais en :

- a) Expériences en locaux fermés,
- b) Expériences en atmosphère libre,

puis de réunir, dans chacune de ces classes, les renseignements au sujet des :

- 1° Ballons lestés, sans filet;
- 2° Ballons lestés, avec filet;
- 3° Ballons non lestés.

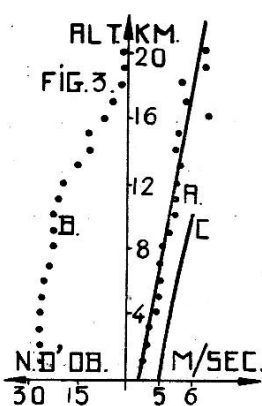
La vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes étant toujours très faible, il est possible de se limiter au cas où l'air est considéré comme incompressible.

Les résultats obtenus à Lindenberg¹ à l'aide de visées doubles ou triples, prouvent que la vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes dans l'atmosphère est notablement différente de celle observée dans les locaux fermés. Quoique la précision des visées multiples simultanées ne soit pas toujours très grande, il se dégage pourtant des sondages les conclusions suivantes :

En général, il existe une relation² entre les composantes verticale et horizontale de la force du vent. Les deux composantes varient simultanément dans le même sens. Par forts vents la composante verticale croît plus rapidement que la composante horizontale. D'après Pepler, une composante ascendante correspond à une augmentation de la force du vent avec l'altitude; au contraire une composante descendante correspond à une diminution de la force du vent avec l'altitude. Le mouvement vertical du vent a lieu d'un niveau de faible courant horizontal à celui de courant plus fort. La vitesse ascensionnelle réelle est en général plus forte que la vitesse ascensionnelle prévue; la conséquence est que les vents sont différents de ceux calculés.

A titre d'exemple, d'après les expériences allemandes, indiquons que V varie en moyenne d'environ 10 cm/sec par 1000 mètres de différence d'altitude pour des ballons dont la vitesse ascensionnelle est primitivement de 4,5 m/sec (fig. 3).

La droite « A » indique le résultat d'une étude de l'Observatoire aéronautique de Lindenberg, en 1910, tendant à mettre en évidence la variation de la vitesse ascensionnelle en fonction de l'altitude. En dessous de 12000 mètres, les vitesses ascensionnelles



¹ *Die Arbeiten des Königlichen Preussischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg. 1910 à 1914.*

² W. PEPLER, Zur Kenntnis der vertikalen Luftbewegung. *Die Arbeiten des Königlichen Preussischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg. 1911. S. 243.*

obtenues croissent assez régulièrement; plus haut les valeurs moyennes sont assez capricieuses. Le faible nombre d'observations qui ont servi à les calculer en est peut être la cause.

La courbe «B» représente les nombres d'observations (portés en abscisse) qui ont servi à calculer les vitesses ascensionnelles moyennes à diverses altitudes.

La courbe C est obtenue en admettant l'hypothèse que la vitesse ascensionnelle croît proportionnellement à $\rho^{-1/6}$.

Les conditions initiales pour le calcul de cette courbe «C» sont:

Vitesse ascensionnelle: 300 m/min.
 Pression au sol: 1033 millibars.
 Température au sol: 10° C.
 Gradient thermique: 1°/200 m.

Jusqu'à 10000 mètres, les courbes «A» et «C» sont assez semblables.

Tetens, dans une étude ¹ sur la précision des sondages à l'aide d'un seul théodolite, cite divers exemples où la vitesse ascensionnelle fut loin d'être constante. Je lui emprunte les deux exemples suivants:

a) Ballon n° 43 du 22 juin 1910. Il fut suivi jusqu'à la douzième minute à l'aide de deux théodolites. Sa vitesse ascensionnelle moyenne était de 2 m/sec. Pendant les deux premières minutes, il n'est monté que de 1 m/sec. Au cours de la sixième minute, sa vitesse passa de 1,5 à 2,4 m/sec. D'après les doubles visées, la composante horizontale du vent pendant les douze premières minutes a passé de 4,1 à 5,5 m/sec; si le sondage avait été restitué d'après la méthode d'un seul théodolite, la vitesse ascensionnelle aurait théoriquement varié de 1,5 à 8,5 m/sec.

b) Ballon n° 42, du 21 juin 1910.

D'après les doubles visées nous avons:

à 1500 mètres: S55W, 2,1 m/sec.

¹ Prof. Dr. TETENS, Ueber die Sicherheit der Pilotsvisierung mittels eines einzigen Theodoliten. *Die Arbeiten des Königlichen Preussischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg*, 1910.

D'après une simple visée nous aurions théoriquement:

à 1500 mètres: S22E, 4,2 m/sec.

L'examen des six sondages de 1910 suivis pendant près de 25 minutes à l'aide de deux théodolites révèle les différences suivantes entre les deux méthodes de restitution, basées sur les sondages suivis avec un ou deux appareils; les résultats calculés à l'aide des observations faites avec deux théodolites sont considérés comme exacts:

Erreurs de direction dues à la restitution à l'aide d'un seul théodolite:

48 observations dont l'écart est de 0 à 10°,
2 observations dont l'écart est de 10 à 20°,
1 observation dont l'écart est supérieur à 20°.

Nombre total d'observations: 51.

Erreurs de la vitesse horizontale du vent déterminée à l'aide d'un seul théodolite:

42 observations dont l'écart est de 0 à 2 mètres/sec,
7 observations dont l'écart est de 2 à 4 mètres/sec,
2 observations dont l'écart est de plus de 4 mètres/sec.

L'erreur d'altitude était en général de 10% pour les ballons suivis avec un seul théodolite (ce n'est plus exact, la qualité du caoutchouc ayant varié depuis cette époque).

De même, à titre de renseignement, la table suivante donne de nombreux cas où la vitesse ascensionnelle a varié de plus de 1 m/sec.

Les matériaux ayant servi à cette nomenclature résultent des sondages effectués en 1913 à Lindenberg et où les ballons ont été suivis à l'aide de deux théodolites. Dans la table suivante, + indique une augmentation, — une diminution de la vitesse ascensionnelle.

La vitesse ascensionnelle moyenne (en mètres) est obtenue en divisant la hauteur atteinte par la durée du sondage.

Les écarts de la vitesse ascensionnelle, relativement à la valeur moyenne, furent observés pendant des temps très inégaux allant de 20 secondes à quelques minutes. Les chiffres

romains indiquent que les valeurs correspondantes sont tirées du II^e, III^e, ... etc. sondage de la journée.

Dans la dernière colonne, les nombres à droite des barres de fractions indiquent les nombres d'observations ayant servi à déterminer les erreurs moyennes correspondantes.

Altitude en mètres	Variation vit. asc.	Vit. asc. moyenne en m/sec.	Ecart vit. asc.		Dates	Erreur moyenne en %
			en m/sec.	en %		
225	+	3,2	1	31	26/9 III	
225	—	4,6	1,1	24	5/8 II	
235	+	2,8	1	36	24/4	
235	+	2,9	1	34	30/10	
235	+	2,9	1	34	30/10 II	
245	+	3,2	1	31	26/9	
250	+	3,3	1	30	6/2	
250	+	3,3	1	30	1/10	
250	+	3,2	1,1	34	28/10	
255	+	3,3	1,1	33	4/4	
260	+	3,4	1,3	38	16/4	38 % /21
260	+	3,3	1,3	39	30/4	
260	+	3,4	1,3	38	27/10	
265	+	3,4	1,5	44	15/9	
270	+	3,9	1,2	31	25/5	
270	+	3,4	1,5	44	15/7	
270	+	3,6	1,4	39	29/8	
275	+	3,8	1,4	37	5/5	
280	+	3,3	1,8	55	18/6	
285	+	3,4	2,2	65	20/6	
305	+	4,1	2,1	51	11/7	
365	+	3	1	33	28/10 II	
375	+	2,9	1,3	45	21/10	39 % /4
295	+	3,5	1	29	31/10	
400	+	3,2	1,4	44	11/10	
455	+	3,4	2,1	62	9/9 IV	53 % /2
505	+	3,2	1,1	34	2/9	
515	+	3,3	1,3	39	30/4	44 % /3
555	+	3,4	1,1	32	15/7	
580	+	3,9	1,4	36	27/5	
620	+	4,6	1,4	30	26/5	
645	+	3,4	1,1	32	22/5	33 % /5
655	+	3,3	1,1	33	4/4	
680	+	3,2	1,2	37	28/7	
820	—	3,3	1	30	15/5	
830	+	3,8	1,1	29	4/8	
855	+	3	1,1	37	14/10 II	30 % /4
895	+	4,6	1,1	24	5/8	
930	+	3,3	1	30	30/4	
930	+	3,4	1,6	47	22/5	
975	+	3,2	2,1	66	23/7	46 % /4
990	+	2,7	1,1	41	10/5	
1110	+	3,2	1,8	56	13/9 II	
1125	+	3,2	1,3	41	9/9 V	
1145	+	3,2	1,6	50	20/10 II	43 % /5
1155	—	3,3	1,2	36	18/10 II	
1170	+	3,4	1,2	35	16/4	
1230	+	3,3	1,4	42	15/5	42 % /1
1340	+	2,8	1,0	36	8/5 II	36 % /1

Altitude en mètres	Variation vit. asc.	Vit. asc. moyenne en m/sec.	Ecart vit. asc.		Dates	Erreur moyenne en %
			en m/sec.	en %		
1425	+	3,3	1,5	45	18/10 II	} 35 % /4
1480	+	3,9	1,2	31	10/5 II	
1490	+	3,4	1,3	38	22/5	
1495	—	3,9	1,0	26	27/5	
1525	—	3,3	1,2	36	14/5 II	36 % /1
1650	—	3,3	1,3	39	14/5 II	39 % /1
1705	—	4,1	1,0	24	2/7	} 37 % /1
1750	—	3,2	1,5	24	22/10	
1780	—	3,3	1,1	30	14/5 II	
1955	—	3,5	1,3	37	5/8	37 % /1
2185	—	3,3	1,1	33	22/10	} 38 % /2
2245	+	3,2	1,1	34	22/10 II	
2490	—	3,2	1,2	38	22/10 II	
2585	+	3,2	1,6	50	20/10	
2650	—	3,3	1,3	39	14/5 II	} 38 % /2
2735	—	3,3	1,4	42	30/4	
2775	—	4,6	1,6	35	26/5	} 39 % /4
2820	+	3,6	1,0	28	29/9	
2830	—	3,0	1,0	33	1/11	
2845	—	2,4	1,0	42	28/3	
2860	—	3,3	1,1	33	15/5	} 41 % /3
2905	+	3,4	1,0	29	14/10	
2915	—	2,4	1,5	62	28/3	
2920	—	3,6	1,2	33	27/5 II	} 35 % /2
3185	—	3,4	1,2	35	22/5	
3195	+	3,4	1,2	45	2/7	} 53 % /3
3345	—	3	1,2	40	28/10 II	
3415	+	3,4	2,1	62	22/5	
3435	—	3,1	1,4	45	27/10 II	} 36 % /2
3480	—	3	1,5	50	1/11	
3615	+	2,8	1,1	39	24/4	} 36 % /2
3690	—	3,4	1,1	32	26/9 II	
3880	—	2,9	1,3	45	21/10	} 62 % /2
4055	+	3	1,1	37	29/10 II	
4105	+	3,2	2,4	75	22/10 II	} 62 % /2
4185	+	3,2	1,6	50	22/10 III	
4260	—	3,3	1,0	30	4/4	} 36 % /4
4265	+	3,2	1,3	41	22/10 II	
4275	—	3,4	1,1	32	22/5	
4285	—	3,6	1,5	42	27/5 II	
4370	+	3,0	1,0	33	29/10 II	} 50 % /3
4410	—	3,3	1,4	42	15/5	
4465	—	3,5	1,9	54	31/5	
4495	—	3,3	1,8	54	22/10	} 37 % /3
4515	—	3,3	1,2	36	1/10	
4535	—	3,2	1,4	44	22/10	
4540	—	3,3	1	30	19/6	} 37 % /3
4715	—	3,5	1	29	31/5	
4855	—	3	1,2	40	29/10 II	

Altitude en mètres	Variation vit. asc.	Vit. asc. moyenne en m/sec.	Ecart vit. asc.		Dates	Erreur moyenne en %
			en m/sec.	en %		
4920	+	2,4	1,8	75	28/3	
4925	—	3,3	1,3	39	30/4	
5030	+	3,2	1,8	56	2/9	} 62 % /2
5040	—	3,4	2,3	68	22/10	
5100	+	3,5	2,4	69	31/5	
5200	—	3,3	1	30	30/4	} 40 % 2
5240	—	3,4	1,1	32	16/4	
5265	+	3,4	2	59	26/9 II	
5470	+	3,3	1	30	30/4	
5565	+	3,2	1,2	38	22/10 II	
5635	—	3,3	2,3	70	30/4	} 53 % /2
5690	—	3,2	1,2	37	13/9 II	
5885	+	3,4	1	29	16/4	
5955	+	3,3	1	30	18/10 II	
6145	+	3,4	1,5	44	9/9 III	
6325	—	3,3	1,5	45	30/4	
6470	+	3,4	1,3	38	26/7	
(6480)	+	6,1	1,4	23	8/5 II)	
6560	—	3,4	2,1	62	9/9 III	
6675	+	3,1	1,1	35	9/9	
6745	+	3,4	1,2	35	20/6	
7035	—	3,4	1,6	47	22/5	} 62 % /2
7045	—	3,4	2,6	77	20/6	
7150	+	3,4	2,5	74	20/6	
(7305)	+	6,1	1,8	29	8/5 II)	
8255	—	3	1,8	60	26/7	
(8320)	+	6,1	1	16	8/5 II)	
8555	+	3,4	1,6	47	20/6	} 50 % /2
8585	—	3,4	1,8	53	26/7	
10065	+	3,1	1,3	42	9/9	
10460	+	3,4	1,2	35	26/7	
12910	—	3,1	1	32	9/9	
(14740)	—	6,1	1,8	29	8/5 II)	

Les quatre lignes entre parenthèses ne peuvent pas être directement comparées avec le reste de la table. Elles correspondent à des sondages au cours desquels la vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes était exceptionnellement grande. Les seules conclusions que l'on puisse tirer de cette longue table sont :

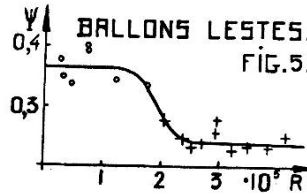
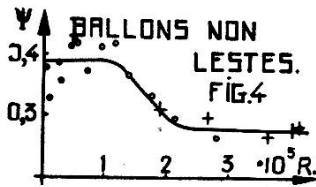
1° Ces erreurs sont presque toutes supérieures à 30% et inférieures à 50% de la vitesse ascensionnelle moyenne.

2° Les erreurs « positives » (augmentation de la vitesse ascensionnelle) semblent être un peu plus fortes que les erreurs « négatives » (diminution de la vitesse ascensionnelle).

3° Avec ces matériaux, il n'est pas possible de mettre en évidence une variation de l'erreur en fonction de l'altitude.

Cette tablelle pourrait être complétée par les résultats des observations similaires de Lindenberg en 1910, 1911, 1912 et celles du début de 1914. Mais c'est inutile. Les chiffres ci-dessus prouvent suffisamment que, même dans un pays de plaine, la vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes n'est pas constante.

Les expériences de Hesselberg et Birkeland ¹ dans l'église de Trefoldighet, à Christiana, montrèrent que pour les ballons non lestés (fig. 4) on trouve deux valeurs différentes du coefficient



de résistance aérodynamique ψ . Pour les ballons lestés (fig. 5) les valeurs de ψ obtenus étaient généralement inférieures.

Dans les figures 4 et 5, les croix représentent les mesures effectuées à l'aide de ballons-pilotes munis de filets, les petits cercles représentent les mesures effectuées à l'aide de ballons-pilotes non munis de filets; R est l'abréviation du *nombre de Reynolds*; on sait que ce nombre, employé dans les calculs de similitude, permet de passer des expériences faites sur un petit modèle aux essais relatifs à un modèle semblable, mais de dimensions différentes; sa définition est:

$$R = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot 2r}{\eta}$$

où ρ est la masse spécifique de l'air, V la vitesse ascensionnelle, $2r$ le diamètre de la section horizontale du ballon, et η la viscosité de l'air.

¹ Ueber die Steigegeschwindigkeit der Pilot-ballone. *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*, 1917. Heft IX.

L'analyse de ces courbes révèle:

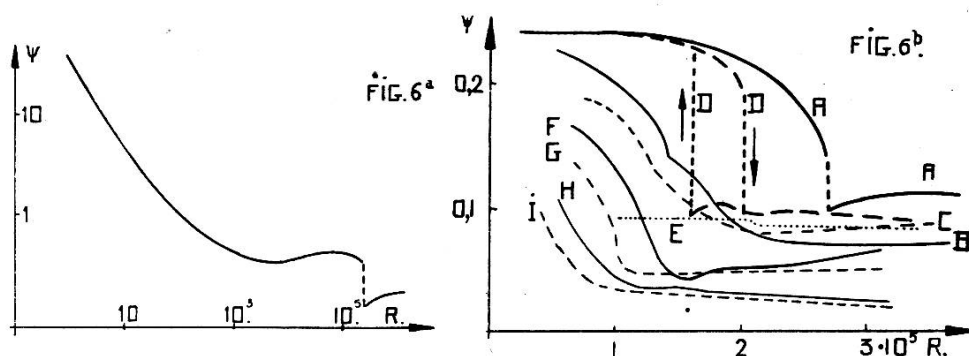
- a) Deux valeurs bien distinctes pour ψ .
- b) Une zone de transition rapide de ψ maximum à ψ minimum.
- c) Que ψ , pour un même nombre de Reynolds est plus faible si le ballon est lesté.
- d) Que le filet ne semble pas jouer un rôle bien grand.

Pour un nombre de Reynolds inférieur à 140000, ψ est constant et a pour valeur 0,39 (ou 0,37 dans le cas des ballons lestés). Si le nombre de Reynolds est supérieur à 220000, ψ redevient constant, mais a pour valeur 0,28 (ou 0,245 dans le cas des ballons lestés).

Dines ¹, à l'occasion de ses recherches, a également trouvé que le coefficient ψ diminue si le lest augmente. Au lieu de l'augmenter par des poids, il a mélangé de l'acide carbonique à l'hydrogène. Dans ce cas, la valeur de ψ était la même que si le ballon avait été gonflé à l'hydrogène pur. La conclusion est que:

Le lest provoque un amoindrissement de la résistance aérodynamique.

L'adjonction d'un poids évite le mouvement en zigs-zags du ballon-pilote. Par ce procédé, Dines put même obtenir une plus grande vitesse ascensionnelle dans un cas spécial.



Les fig. 6 représentent le coefficient de résistance ψ en fonction du nombre de Reynolds R et du degré de turbulence T_u de l'air ambiant.

¹ J. S. DINES, Rate of Ascent of Pilot Balloons. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1913, vol. 39, p. 101.

D'une manière générale, ψ diminue si R augmente. La fig. 6a donne la variation générale de ψ en fonction de R¹. Les courbes de la fig. 6b représentent:

- Courbe A² sphère, écoulement laminaire.
 B² sphère, écoulement légèrement tourbillonnaire.
 C³ sphère, écoulement tourbillonnaire.
 D² sphère, écoulement rendu tourbillonnaire par la soudure d'un fil de 1 mm de diamètre sur le grand cercle perpendiculaire au courant d'air. (Diamètre de la sphère: 283 mm).
 E² sphère, écoulement rendu tourbillonnaire par la soudure d'un fil sur le cercle à 15 degrés de latitude devant l'équateur dont le plan est perpendiculaire au courant d'air (diamètre de la sphère: 283 mm).
 F² ellipsoïde de révolution (1 : 1,33), écoulement laminaire.
 G² ellipsoïde de révolution (1 : 1,33), écoulement tourbillonnaire.
 H² ellipsoïde de révolution (1 : 1,8), écoulement laminaire
 I² ellipsoïde de révolution (1 : 1,8), écoulement tourbillonnaire.

Si la formule simplifiée $P_1 = F_r = \psi \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$ est admise:

- P_1 = poussée du ballon,
 F_r = résistance aérodynamique,
 V = vitesse ascensionnelle,
 S = surface d'un grand cercle,
 ρ = masse spécifique de l'air,

V peut en être tiré:

$$V = \sqrt{\frac{P_1}{\psi \cdot \rho \cdot S}}$$

Cette expression indique clairement que V dépend du nombre de Reynolds et est variable.

Ce résultat est en accord avec l'expérience.

¹ *Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsanstalt zu Göttingen*, 2. Lieferung, 1923.

² C. WIESELSBERGER, *Mitteilungen aus der Göttinger Modellversuchsanstalt. Der Luftwiderstand von Kugeln. Zeitschrift für Flugtechnik und Motorluftschiffahrt*, 1914, Heft 9.

³ G. EFFEL, *Sur la résistance des sphères en mouvement dans l'air. Comptes rendus*, 155, p. 1597 (1912).

Des essais faits à Göttingen ont montré que, si l'écoulement est laminaire, la couche limite décolle de la sphère (ballon-pilote) de 5 à 8° avant l'équateur. Si l'air est rendu arbitrairement tourbillonnaire, la couche décolle bien après l'équateur.

La résistance est plus grande dans le premier cas que dans le second.

Lorsque R augmente, la résistance diminue.

La turbulence de l'air a pour effet :

- 1° De diminuer le coefficient de résistance aérodynamique,
- 2° De favoriser le décollement des filets d'air après l'équateur.

Ces résultats sont qualitativement encore valables en atmosphère libre. On peut tirer de l'étude de Hesselberg et Birke-land les conclusions suivantes :

1° La vitesse ascensionnelle est plus grande dans l'atmosphère libre qu'en locaux fermés ;

2° Le passage du premier régime d'écoulement au second a lieu plus tôt en atmosphère libre qu'en locaux fermés.

Wenger¹, pour bien mettre en évidence la variation brusque de ψ , pose :

$$\psi = \frac{F_r}{\pi \cdot r^2 \cdot \rho \cdot V^2},$$

$$R = \frac{\rho \cdot V^2 \cdot 2 \cdot r}{\eta} = \text{nombre de Reynolds},$$

η = viscosité de l'air ,

$$\psi R^2 = \frac{4 \cdot \rho \cdot F_r}{\pi \cdot \eta^2}.$$

Si ρ , η et F_r étaient constants (ce qui est le cas pour une très faible couche d'air), on aurait :

$$\psi \cdot R^2 = \text{constante (hyperbole cubique)}.$$

Si pratiquement c'était le cas, cette équation serait représentée par une courbe semblable à celle qui est dessinée sur la fig. 7.

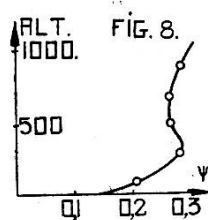
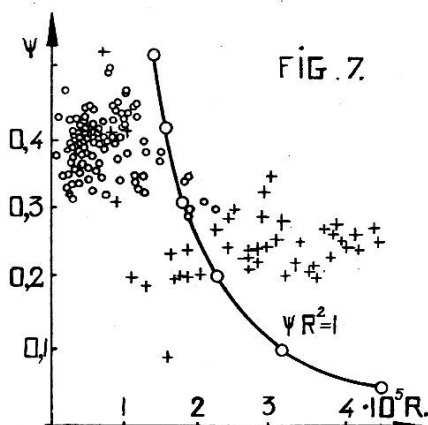
¹ Die Steiggeschwindigkeiten der Gummiballon und die Turbulenz in der Atmosphäre. *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*, 1917, S. 121.

Mais l'expérience montre que les points sont groupés en amas; cela signifie que certaines valeurs sont privilégiées.

La fig. 7, tirée par Wenger des observations de Hesselberg et Birkeland indique que les points sont groupés en deux amas, dont les centres de gravité donnent:

$$\psi = 0,38 \quad \text{et} \quad \psi = 0,25 .$$

La seconde valeur correspond à un écoulement rendu artificiellement turbulent à l'aide d'un filet.



Wenger, reprenant les matériaux fournis par les doubles visées, exécutées à Lindenberg en 1913¹, donne une nouvelle preuve de la variation de ψ (fig. 8).

Il est facile de constater qu'aux environs du sol, où la turbulence est élevée à cause du relief, la valeur de ψ est très faible. La valeur minimale ($\psi = 0,16$) obtenue par extrapolation, correspond à celle mesurée dans les souffleries où la turbulence n'est pas éliminée.

Pour Wenger, ψ dépend:

1° Du nombre de Reynolds (si R augmente, ψ diminue). Pour certaines valeurs de ce nombre, plusieurs écoulements différents peuvent se produire autour du ballon; ils correspondent à diverses valeurs du coefficient de résistance.

2° De la turbulence; la résistance diminue si la turbulence augmente.

¹ *Arbeiten am Aeronautischen Observatorium*, 1913, p. 332-340; 89 sondages.

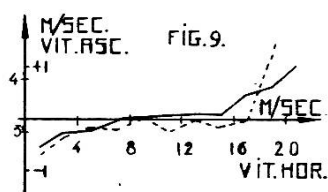
La valeur minimale de ψ trouvée est de 0,07 pour un nombre de Reynolds élevé et une violente turbulence.

La valeur théorique maximale de ψ est $0,56 \left(\frac{9}{16}\right)$; alors que la valeur maximale de ψ trouvée dans une expérience est de 0,48 pour un nombre de Reynolds inférieur à 100000.

Wenger arrive à la conclusion que la variation de la vitesse ascensionnelle peut servir d'échelle pour la turbulence.

Parmi les sondages à double visées de Lindenberg ¹, de 1911 à 1914, 185 furent choisis pour étudier la variation de la vitesse ascensionnelle. Wenger fait remarquer que ces matériaux ne sont pas exempts de reproches. Les causes d'erreurs sont:

- 1° La turbulence de l'air;
- 2° L'augmentation de la vitesse ascensionnelle avec l'altitude.



Les courbes de la fig. 9 (dessinée à l'aide de ces 185 sondages) indiquent qu'à partir d'une certaine vitesse horizontale du vent, la composante ascensionnelle croîtrait subitement. Cette observation fut déjà mentionnée par W. Peppler en 1911 ². Nous verrons plus loin que P. Idrac arrive à un autre résultat. S'il est peu probable que cette augmentation de la vitesse du vent soit due à une importante composante verticale, il faut admettre que la turbulence du vent croît subitement.

Wenger ³, en étudiant la relation qui existe entre la rotation de la direction du vent en fonction de l'altitude et la vitesse ascensionnelle, arrive aux conclusions suivantes:

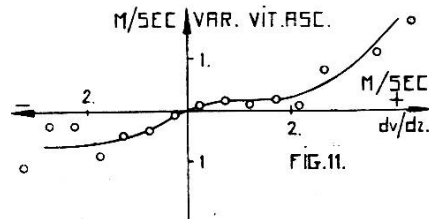
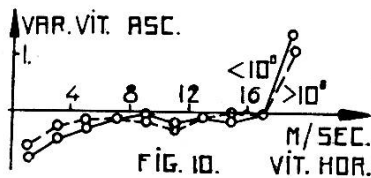
- 1° Une faible rotation (inférieure à 10°) correspond à une notable variation de la vitesse ascensionnelle (fig. 10);
- 2° Une forte rotation (supérieure à 10°) correspond à une variation plus faible de la vitesse ascensionnelle (fig. 10).

¹ *Die Arbeiten der Königlichen Preussischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg.*

² *Loc. cit.*

³ *Loc. cit.*

Le degré de la turbulence de l'air dépendrait encore de la variation de la force horizontale du vent en fonction de l'altitude. Si la force du vent diminue avec l'altitude, la vitesse ascensionnelle et la turbulence diminueraient aussi; au contraire si la force du vent augmente en fonction de l'altitude, la vitesse ascensionnelle du ballon-pilote et la turbulence croîtraient.



La fig. 11, dessinée à l'aide des valeurs publiées par Wenger, indique la relation assez lâche entre dv/dz et ψ .

Barkow¹ s'inspirant des mouvements moléculaires en cherche l'équivalent dans les courants tourbillonnaires de l'atmosphère. Il remplace le libre parcours moyen d'une molécule par la notion abstraite de « Turbulenzkörper ».

Si le gradient thermique horizontal est nul, et si la température diminue adiabatiquement en fonction de l'altitude, le mouvement d'une particule d'air ne dépendra que de son énergie interne et sera indépendant de la direction; le « Turbulenzkörper » sera une sphère. Si la température varie d'une manière quelconque en fonction de l'altitude, le « Turbulenzkörper » sera un corps de révolution, car les mouvements des particules d'air qui ont une composante verticale seront dépendants de:

- 1° l'énergie interne,
- 2° la différence de température entre ces particules et l'air ambiant.

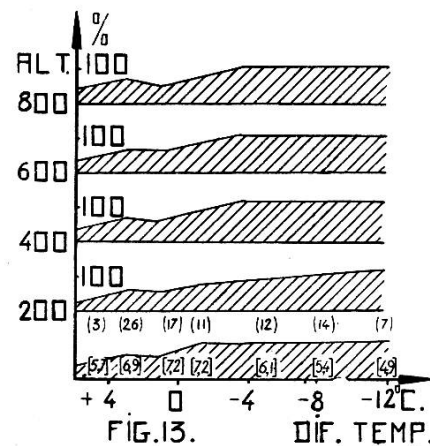
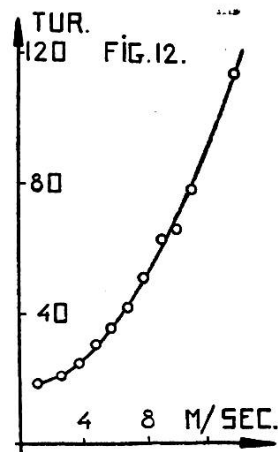
D'après cette conception, la courbe représentative de la turbulence en fonction du vent est celle de la fig. 12. Elle a été tracée à l'aide des valeurs calculées par Barkow.

En analysant les sondages de l'expédition antarctique allemande de 1911 à 1912, Barkow met en évidence (dans ce cas)

¹ E. BARKOW, Windänderungen mit der Höhe. *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*. 1917.

une relation entre le gradient thermique moyen (entre le sol et 500 m plus haut) et la variation en % de la force du vent au sol et à différentes altitudes. Ses conclusions sont données schématiquement par la fig. 13.

En abscisse sont portées les différences de température.



Les nombres positifs en abscisse indiquent qu'il faisait plus chaud de x° centigrades à 500 mètres au-dessus du sol qu'à la surface de la terre.

Les nombres négatifs indiquent une chute de température de x° C. pour cette même différence d'altitude.

Les chiffres entre parenthèses indiquent que les valeurs obtenues dans la colonne sont des moyennes de x mesures.

La hauteur de la surface hachurée entre les horizontales 200, 400, etc. 1000 mètres et les courbes, indique l'augmentation du vent en % de sa valeur au voisinage du sol.

Les chiffres dans les crochets donnent les forces moyennes du vent au sol, en mètres secondes.

En ordonnées les centaines à droite de l'axe indiquent les altitudes où des déterminations de l'intensité du vent ont été faites.

D'après ces courbes il semblerait que:

1° Plus la température croît dans les 500 premiers mètres, plus l'augmentation du vent est faible.

2° Si la température diminue de plus de 5° , le vent ne semble plus croître notablement.

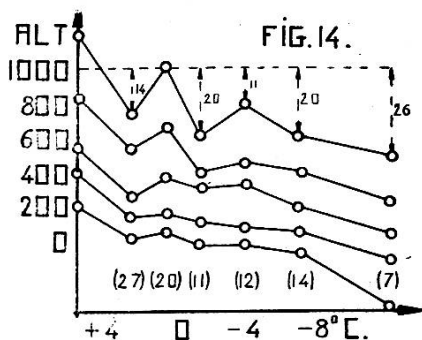
Le matériel qui a servi à établir ces courbes est pauvre et ne correspond pas nécessairement aux conditions qui règent sous nos latitudes.

Barkow a cherché à mettre en lumière une variation de la rotation des vents en fonction de l'altitude et de la température. Les résultats de ces recherches sont représentées par la fig. 14.

En abscisse sont reportées les différences de température entre le sol et 500 mètres plus haut.

En ordonnées sont :

- 1° Les altitudes;
- 2° Les rotations; elles sont négatives (le vent tourne à gauche en altitude) si les points sont au-dessous de l'altitude correspondante.



Les altitudes 200, 400 mètres, etc., sont prises pour les lignes de référence de chaque rotation.

Ces courbes ne révèlent aucune relation bien certaine entre le gradient thermique et la rotation du vent.

Les conclusions des mesures exécutées récemment à l'aéroport de Fürth ¹ sont :

- 1° Pendant les cinq à dix premières minutes, les ballons-pilotes montent beaucoup plus rapidement que ne l'indique le calcul.
- 2° Cette variation pourrait dépendre de la nature des ballons.

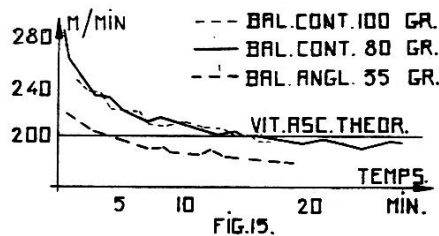
Nombre d'observations	Vitesse ascension. présumée en m/min	Vit. asc. minimale		Vit. asc. maximale	
		en m/min	Nbre d'obs.	en m/min	Nbre d'obs.
30	100	99	2	148	1
88	150	109	1	289	1
x	150	155	x	282	x

(Ballons « Continental ».)

¹ *Erfahrungsberichte der Deutschen Flugwetterdienste*. 6^{te} Folge, Nummer 10.

La table de la page précédente précise ces renseignements pour la première minute.

La hauteur du ballon fut contrôlée à l'aide d'un télémètre. Les courbes suivantes représentent la variation de la vitesse



ascensionnelle en fonction du temps, d'après les observations de Fürth.

A Berlin¹, en juillet 1931, quelques expériences furent faites pour comparer la vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes non

lestés et celle des ballons-pilotes lestés, par un dispositif d'éclairage pour les sondages nocturnes.

A chaque essai, deux ou trois ballons-pilotes furent lâchés simultanément à deux mètres d'intervalle. Ils furent suivis à l'aide de deux, respectivement trois théodolites, distants de deux mètres l'un de l'autre. Des ballons-pilotes « Goern » pesant 60 gr à vide furent dotés d'une vitesse ascensionnelle de 200 m/minute. Les premières expériences eurent lieu par temps à grains, les autres par temps calmé. La première expérience eut lieu le 20/7/1931, à 11 h. 30, par vent en rafales.

Le ballon (a) fut lâché non lesté;

Le ballon (b) fut lesté intérieurement de 58 gr.

La deuxième expérience eut lieu le 21/7/1931, à 17 h. Temps à grains, violentes rafales.

Le ballon (c) fut lâché non lesté,

Le ballon (d) fut lesté intérieurement de 58 gr.

Les résultats de ces deux expériences sont contenus dans la table suivante.

La rose des vents comprend 320 directions (désignées par « degrés » dans les tableaux qui suivent).

¹ *Erfahrungsberichte der Deutschen Flugwetterdienste*. 6^e Folge, Nummer 25.

Première expérience.

Temps en min	Direction du vent en dizaines de degrés		Vitesse en m/sec		$\frac{(a - b) \cdot 100}{a}$
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	%
1	23	23	3	3	0
2	24	23	4	3	25
3	23	21	4	3	25
4	22	22	4	5	— 25
5	22	21	6	6	0
6	21	21	6	6	0
7	21	20	7	6	14
8	21	20	7	8	— 14
9	20	20	9	8	11
10	20	20	10	9	10
11	20	19	10	8	20
12	19	19	9	9	0

$$\frac{a - b}{a} \cdot 100 \text{ moyenne} = 5,5\%$$

Deuxième expérience.

Temps en min	Direction du vent en dizaines de degrés		Vitesse en m/sec		$\frac{(c - d) \cdot 100}{c}$
	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	%
1	25	25	5	5	0
2	27	26	8	7	12
3	26	27	10	7	30
4	27	26	10	6	40
5	26	25	8	7	12
6	26	26	12	7	42
7	25	26	12	6	50
8	25	24	12	5	58
9	26	24	8	4	50
10	25	25	8	4	50
11	23	—	7	—	—
12	24	—	5	—	—
13	26	—	5	—	—

$$\frac{c - d}{c} \cdot 100 \text{ moyenne} = 34\%$$

Les expériences suivantes furent faites par temps calme.

Au cours de chacune d'elles, trois ballons-pilotes « Saul » pesant 54 gr., furent lâchés. On les dota d'une vitesse ascensionnelle de 200 m/min.

Une expérience eut lieu le 27/7/1931, à 11 h. 30, ciel presque couvert par du stratus.

Le ballon (*e*) fut lâché non lesté;

Le ballon (*f*) fut lesté intérieurement par 58 gr;

Le ballon (*g*) fut lesté extérieurement par 58 gr.

Le 28/7/1931, un nouvel essai eut lieu, l'air était calme.

Le ballon (*h*) fut lâché non lesté;

Le ballon (*i*) fut lesté intérieurement par 58 gr;

Le ballon (*j*) fut lesté extérieurement par 58 gr.

Les vitesses calculées du vent en altitude sont:

Troisième expérience.

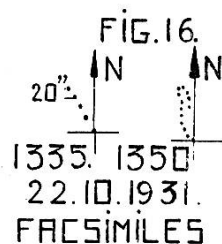
Temps en min	Vitesse en m/sec.			$\frac{(e-f) \cdot 100}{e}$	$\frac{(e-g) \cdot 100}{e}$
	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>		
1	5	5	5	0	0
2	10	9	10	10	0
3	11	11	12	0	— 9
4	11	11	11	0	0
5	11	10	13	9	— 18
6	11	10	12	9	— 9
7	12	12	12	0	0
8	15	15	15	0	0
9	17	16	16	6	6
10	18	18	20	0	9
11	19	16	17	16	10
12	18	16	19	11	— 5
13	20	15	15	25	25
14	16	19	17	— 18	— 6
15	18	19	19	— 17	— 5

Quatrième expérience.

Tem s en min	Vitesse en m/sec			$\frac{(h-i) \cdot 100}{h}$	$\frac{(h-j) \cdot 100}{h}$
	<i>h</i>	<i>i</i>	<i>j</i>		
1	3	3	3	0	0
2	2	2	3	0	50
3	3	3	2	0	33
4	4	5	4	- 25	0
5	6	7	6	- 17	0
6	7	7	8	0	- 14
7	8	8	8	0	0
8	8	9	9	- 12	- 12
9	7	8	9	- 14	- 28
10	7	7	8	0	- 14
11	8	8	8	0	0
12	9	10	8	- 11	11
13	10	9	9	10	10
14	11	12	10	- 9	9
15	12	13	12	8	0

Ces tabelles révèlent la grande influence des rafales sur la détermination de la force du vent.

En outre, elles confirment les deux observations suivantes, faites à Dubendorf le 22/10/1931 à 13 h. 35 et 13 h. 50 (fig. 16) dont les résultats sont:



Temps en min	1335 h.		1350 h.	
	Direction en degrés	Vitesse du vent en km/h.	Direction en degrés	Vitesse en km/h.
1	55	32	32	7
2	55	21	55	8
3	55	21	74	12
4	55	54	85	13
5	—	—	85	14
6	—	—	85	13
7	—	—	64	14
8	—	—	80	8
9	—	—	140	5
				etc.

↑ N
 FIG. 17.
 1430
 19.8.1931.
 FACSIMILE.

Les ballons employés (tare 32 gr) furent dotés d'une vitesse ascensionnelle de 100 m/min. Le vent donnait l'impression d'avoir la même force au cours des deux sondages.

Le sondage du 19 octobre 1931 est étrange (fig. 17):

Temps en min	Direction en degrés	Vitesse du vent en km/h.	Altitude
1	180	11	600
2	212	6	750
3	212	12	900
4	262	12	1050
5	258	14	1200
6	258	24	1350
7	258	33	1500
8	258	62	1650
9	258	78	1800
10	258	119	1950
11	258	95	2100
12	258	52	2250
13	223	19	2400
14	245	32	2550
15	253	43	2700

Ce fort courant vers 2000 mètres ne put pas être décelé, un quart d'heure plus tard, à l'aide d'avions militaires.

Il semble que nous ayons eu affaire à un remous qui a faussé nos mesures. Si ce courant a existé, il semble du moins avoir été tout temporaire.

Dans les fig. 16 et 17, la vitesse du vent est proportionnelle à la distance entre deux points consécutifs.

A Saarbrück, la vitesse ascensionnelle des ballons-sondes fut déterminée par la méthode suivante:

Après le sondage, à l'aide des diagrammes, l'atmosphère fut divisée en diverses couches superposées. A l'intérieur de chacune d'elles, la pression, la température et l'humidité variaient linéairement avec l'altitude. L'épaisseur e_p de chaque couche fut déterminée. La vitesse ascensionnelle dans chaque couche fut obtenue en divisant la hauteur e_p par le temps Θ employé par le ballon-sonde pour la franchir.

⊖ fut calculé à l'aide des diagrammes du météorographe. Voici quelques résultats:

Sondage du 15 septembre 1930¹ à 06 h. 40. T.M.G.:

Vitesse ascensionnelle maximale de 6,7 m/sec de 5338 mètres à 7630 mètres sur mer, soit pendant presque cinq minutes.

Vitesse ascensionnelle minimale de 2,9 m/sec de 17,208 mètres à 18063 mètres sur mer, soit pendant près de cinq minutes.

Ces vitesses extrêmes présentent un écart de $100 \cdot \frac{6,7}{2,9} = 231\%$

Sondage du 17 septembre 1930, à 6 h. 28. T.M.G.:

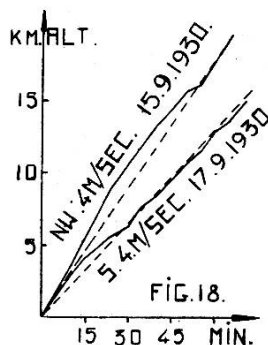
Vitesse ascensionnelle maximale de 5 m/sec du sol à 1691 mètres sur mer, soit pendant cinq minutes environ.

Vitesse ascensionnelle minimale de 2,1 m/sec de 5631 mètres à 6251 mètres sur mer, soit pendant cinq minutes environ.

Ces vitesses ascensionnelles présentent un écart de $\frac{5,0}{2,1} \cdot 100 = 244\%$.

Les deux courbes de la figure 18 représentent la hauteur atteinte en fonction du temps.

Si la vitesse ascensionnelle était constante, ce seraient des droites. La seule conclusion certaine que l'on puisse tirer de ces différentes études est que la vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes n'est pas constante, comme nous l'admettons pratiquement journellement dans chaque sondage.



Les causes de la variation de la vitesse ascensionnelle seraient:

- 1° La turbulence de l'air;
- 2° Les courants verticaux de l'atmosphère.

Le gradient thermique ne semble jouer un rôle ni bien important, ni bien certain.

¹ *Meteorologische Beobachtungen der Wetterwarte Saarbrücken*, Nr. 7-8, 1929, 3/4 Quartal.

(à suivre)