

**Zeitschrift:** Archives des sciences physiques et naturelles  
**Herausgeber:** Société de Physique et d'Histoire Naturelle de Genève  
**Band:** 19 (1937)

**Artikel:** Remarques sur la prévision du temps  
**Autor:** Berger, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-741817>

#### 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>**

1937

Vol. 19

Septembre-Octobre

REMARQUES  
SUR  
**LA PRÉVISION DU TEMPS**

PAR

**P. BERGER**

(Avec 2 fig.)

I. — INTRODUCTION.

A l'heure actuelle, les méthodes de prévision du temps évoluent assez rapidement. Jusqu'à la fin de la guerre, elles étaient basées presque exclusivement sur les renseignements météorologiques, observés à la surface du sol ou de la mer.

L'Ecole norvégienne introduisit la notion des « surfaces frontales » s'appuyant sur le sol et s'étendant jusqu'à une certaine altitude. Ces surfaces séparent des masses d'air d'origines et de propriétés physiques différentes; leurs traces au sol sont désignées sous le nom de « fronts ». En particulier pour l'époque, ces nouvelles notions correspondaient à un premier pas de l'analyse météorologique *spatiale*. Depuis ce moment-là (1911), divers essais intéressants furent faits. Dans les quelques paragraphes qui suivent, je désire simplement montrer la supériorité de l'analyse spatiale sur celle qui est effectuée à l'aide de renseignements, exclusivement observés au sol.



**II. — REMARQUES SUR LES OBSERVATIONS MÉTÉOROLOGIQUES  
EFFECTUÉES A LA SURFACE DE LA TERRE.**

Dans ces remarques, quelques éléments seulement (pression, température, humidité, direction et vitesse des vents) sont passés en revue. Ils sont cependant suffisants pour prouver que la précision de ces renseignements — non des mesures — est bien précaire, comme nous allons le voir.

*1<sup>o</sup> Pression.*

Si, à  $x$  jours, mois ou années d'intervalle, les météorologues sont amenés à dessiner au niveau de la mer deux cartes isobariques identiques, est-ce une raison suffisante pour en conclure que:

- a) les situations météorologiques sont également identiques ?
- b) les prévisions pour les  $y$  heures suivantes doivent être aussi identiques ?

Non, la similitude de ces deux cartes n'est pas suffisante, comme longtemps on l'a cru; c'est une condition nécessaire, mais ce n'est pas la seule, ni même la principale — à mon point de vue — comme nous le verrons dans la suite.

En un point quelconque A, la pression au sol  $p$  est la somme de toutes les « pressions infinitésimales » à la verticale du lieu, comptée à partir de la surface du sol jusqu'à l'infini:

$$p = \int_0^{\infty} dp . \quad (1)$$

Pratiquement on substitue à la notion théorique de « pressions infinitésimales » celle de « pressions partielles ». Par cette dernière expression on désigne la pression  $\Delta p$  due à une « tranche » atmosphérique horizontale au sein de laquelle la température varie linéairement (ou reste constante) avec l'altitude et dans laquelle l'humidité relative reste, soit cons-

tante, soit croît (ou décroît) régulièrement. L'équation (1) se transforme en:

$$p = \sum_1^n \Delta p \quad (2)$$

$n$  = nombre de tranches atmosphériques à partir du sol.

La pression envisagée  $p$  peut donc être obtenue d'une infinité de manières différentes; pour cela, il suffit que l'épaisseur, le nombre  $n$ , la composition — air chaud ou froid, sec ou humide — des tranches varient, mais que la somme des pressions partielles  $\Delta p$  reste constante. Cette égalité des pressions — quoique les masses d'air soient différentes — peut se produire simultanément non seulement en A, mais sur toute une région, point par point. En effet, les phénomènes météorologiques s'étendent sur de très grandes aires et il n'est pas rare de trouver des cartes isobariques identiques sur toute l'Europe centrale, mais il est peu probable que les cartes synoptiques qui précédèrent ou celles qui suivirent, furent également identiques.

De ces quelques remarques, nous pouvons déjà tirer deux conclusions:

- a) des cartes isobariques identiques peuvent se rencontrer au cours d'évolutions différentes, de situations météorologiques dissemblables;
- b) à des cartes isobariques identiques au sol, ne correspond pas nécessairement, en altitude, une répartition identique de mêmes masses d'air.

Ce dernier point en particulier montre tout l'intérêt qu'il y a de connaître les caractéristiques des masses d'air au sein de l'atmosphère.

Outre ces raisons physiques qui prouvent que la connaissance de  $p$  au sol n'est qu'un facteur de l'analyse météorologique, quelques autres faits viennent entacher la précision des renseignements barométriques; je n'en citerai qu'un.

Les méthodes de réduction de la pression au niveau de la mer varient d'un pays à l'autre; les raisons principales en sont l'altitude moyenne de la région, la proximité de la mer ou de

chaînes montagneuses importantes (les Alpes par exemple), la commodité de calcul.

De part et d'autre des frontières politiques, il est ainsi possible que les isobares subissent de faibles translations fictives.

L'importance des erreurs de réductions est d'autant plus grande que l'altitude du poste d'observation est élevée.

## 2<sup>o</sup> *La température.*

Les mesures instrumentales de la température au sol n'offrent aucune difficulté.

Sur les cartes synoptiques du temps, de l'Europe par exemple, on trouve pêle-mêle les températures mesurées simultanément au niveau de la mer ou à 500-600 m d'altitude, celles mesurées par 37° — Grèce, Sicile — et par 70° — extrême Nord de la Scandinavie — de latitude N, ou par 25° E — Roumanie, Finlande — et par 20° W — Islande — de longitude, peu importe que ce soit l'été ou l'hiver. A la même heure de Greenwich, le soleil étant différemment haut au-dessus des horizons de ces divers pays, l'évolution thermique journalière sera plus avancée dans une région que dans l'autre. La nébulosité joue également un grand rôle. Un corps d'alto-stratus qui se substitue à un ciel sans nuages, peut produire un refroidissement de 5°<sup>1</sup>.

D'autres phénomènes locaux modifient également la valeur susceptible d'être attachée à la température. En hiver, les fortes inversions thermiques, qui se forment peu à peu par rayonnement nocturne au voisinage du sol et qui peuvent durer plusieurs jours, atteignent et dépassent 15°.

Par ciel voilé, lorsque le sol est couvert de glace fondante, la quantité de chaleur de fusion, empruntée à l'air, au voisinage de la terre, en abaisse la température de quelques degrés (chaleur de fusion de la glace = 80 cal. gr.<sup>-1</sup>; chaleur spécifique de l'air sec, à pression constante = 0,239 cal. gr.<sup>-1</sup>).

L'été, aux environs de midi, par ciel clair, la formation de zones surchauffées de faible développement vertical au voisinage du sol, provoque également des anomalies thermiques notables.

<sup>1</sup> WEHRLÉ et SCHERESCHWESKY. Les systèmes nuageux. *Mémorial de l'O.N.M.* N° 1, 1923.

Les renseignements thermiques dont disposent les météorologues sont donc très hétérogènes. Les tableaux 1-3 précisent quelques points soulevés dans ce paragraphe. Les températures moyennes mensuelles des années 1921-1930 — calculées de différentes manières et exprimées en degrés centigrades — de quelques endroits sont données dans le tableau 1. Les lettres J, F, etc. désignent les mois de janvier, février, etc.

TABLEAU N° 1.

	J	F	M	A	M	
Helsingfors <sup>1.</sup>	Finlande . . .	- 4,6	- 6,7	- 2,2	2,6	8,7
Vestmannœ <sup>2.</sup>	Islande . . .	2,3	3,4	3,3	4,6	6,8
Lisbonne <sup>3.</sup>	Portugal. . .	10,8	11,4	13,3	14,0	16,4
Zurich <sup>4.</sup>	Suisse . . .	0,5	1,0	4,8	8,3	13,0

	J	J	A	S	O	N	D
Helsingfors . . .	12,9	17,1	15,6	10,9	5,3	0,8	- 2,7
Vestmannœ . . .	9,4	11,1	10,9	8,2	5,2	3,4	2,8
Lisbonne . . . .	19,7	21,8	22,4	20,8	18,3	13,6	11,5
Zurich . . . .	15,9	18,3	16,9	14,2	9,6	4,1	0,9

Les heures du lever du soleil pour quelques villes sont citées dans le tableau n° 2. Les lettres J, F, etc. ont la même signification que précédemment. Ces renseignements furent calculés à l'aide du temps légal à Paris, pour 1937, publié dans *L'Annuaire du Bureau des Longitudes de Paris*. Le premier chiffre donne l'heure, les deux derniers les minutes. Ces valeurs correspondent au 1<sup>er</sup> de chaque mois.

<sup>1</sup> Altitude: env. 12 m. Ces températures sont les moyennes des observations de 7,14 et 21 HEO.

Méthode de calcul:  $\frac{1}{3}(7 + 14 + 21)$  World Weather Records, Smithsonian Institution, Vol. 90. (W.W.R. S.I., Vol. 90), page 209.

<sup>2</sup> Altitude: env. 10 m. Ces températures sont les moyennes des observations de 8 et 14 H TMG.

Méthode de calcul:  $\frac{1}{2}(8 + 14)$  W.W.R. S.I., Vol. 90, p. 374.

<sup>3</sup> Altitude: env. 95 m. Ces températures sont les moyennes des observations des 24 heures. W.W.R. S.I., Vol. 90, p. 235.

<sup>4</sup> Altitude: env. 485 m. Ces températures sont les moyennes des observations de 0730, 1330, 1930 HEC.

Méthode de calcul:  $\frac{1}{4}(0730 + 1330 + 2(1930))$  W.W.R. S.I.. Vol. 90, p. 244.

TABLEAU N° 2.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Env. Paris . . .	746	723	635	531	433	354	353	424	508	551	638	724
Env. Helsingfors	814	729	611	439	312	203	157	252	406	517	634	757
Env. Lisbonne	751	740	707	617	536	509	510	531	601	629	700	732
Env. Athènes . . .	630	616	545	459	416	352	353	414	441	507	536	608

Les températures horaires moyennes, en degrés centigrades, de Zurich (485 m) et du Säntis (2500 m) des mois de janvier et de juillet sont données dans le tableau 3. Seules les heures paires sont notées. Ces valeurs sont tirées de l'ouvrage: *Das Klima der Schweiz*; elles correspondent aux moyennes des années 1894-1900. Les signes positifs ne sont pas imprimés. A titre de comparaison, les températures similaires pour Lisbonne et Helsingfors sont présentées.

TABLEAU N° 3.

Stations	Mois	02	04	06	08	10	12	14	16	18	20	22	24
Zurich . . . {	Janvier	0,0	-0,2	-0,3	-0,3	0,9	2,2	2,8	2,0	1,0	0,7	0,4	0,2
	Juillet	14,4	13,7	14,4	18,0	20,4	22,2	23,0	22,7	20,8	17,8	16,4	15,3
Säntis . . . {	Janvier	-7,4	-7,5	-7,5	-7,4	-6,9	-6,6	-6,7	-7,0	-7,2	-7,2	-7,3	-7,4
	Juillet	4,1	3,9	4,3	5,0	5,9	6,7	6,9	6,6	6,0	5,0	4,5	4,2
Lisbonne <sup>1</sup> . . . {	Janvier	9,9	9,5	9,2	9,2	10,3	11,3	12,1	12,2	11,4	10,9	10,6	10,2
	Juillet	18,5	18,1	18,3	20,2	22,3	23,7	24,2	24,0	22,6	20,3	19,6	19,0
Helsingfors- Ismala <sup>2</sup> . . . {	Janvier	-4,7	-4,7	-4,7	-4,8	-4,9	-4,4	-4,0	-4,2	-4,4	-4,5	-4,6	-4,6
	Juillet	14,6	14,0	14,9	17,1	18,6	19,5	19,9	20,0	19,4	18,1	15,4	15,5

La comparaison des tableaux 1-3 laisse prévoir les difficultés que donnent l'interprétation des températures reçues journallement.

Théoriquement, il serait possible de ramener toutes les tem-

<sup>1</sup> *Annaes do observatorio do infante D. Luiz*, Lisboa 1878. Moyennes des années 1864-1875.

<sup>2</sup> *Meteorologisches Jahrbuch für Finnland* 1929, 1931, 1932, 1933, 1934. Temps HEO.

pératures à une altitude, à une latitude et à une heure de référence, mais il n'est pas possible d'estimer quantitativement l'influence d'une inversion, d'une zone surchauffée, etc. aussi longtemps que l'observateur reste au sol. Pour se libérer des divers facteurs qui modifient localement l'état thermique de l'air au voisinage du sol, il y a donc lieu de faire les mesures de températures en atmosphère libre. Cette solution présente d'autre part l'avantage que l'évolution thermique journalière y est beaucoup plus faible qu'au sol. Quoique le Säntis trouble l'atmosphère dans son voisinage, l'évolution journalière de la température y est déjà beaucoup plus faible qu'à Zurich (tableau 3).

### 3<sup>o</sup> *L'humidité.*

Aux stations météorologiques d'observation, l'humidité relative est mesurée en pour-cent, puis transmise sous cette forme par les postes de radio. Cette humidité relative n'est pas très représentative; pour cette raison elle est bien souvent peu étudiée. En effet, pour n'importe quelle quantité de vapeur d'eau, l'humidité relative est plus ou moins forte suivant que la température de l'air est plus ou moins basse.

Les renseignements concernant la température sont — comme nous venons de le voir — bien hétérogènes; ceux de l'humidité relative le sont encore plus.

### 4<sup>o</sup> *Direction et force du vent.*

Au voisinage du sol, la direction et l'intensité du vent sont très influencées par le relief. Sur les montagnes ou dans les vallées certaines directions sont nettement privilégiées. Certains vents locaux, tels que le Fœhn ou le Joran, modifient le régime normal des courants aériens en Suisse.

Le tableau 4 indique le nombre de kilomètres de vent enregistré aux stations de Zurich et du Säntis en 1934<sup>1</sup>. Ces chiffres donnent une idée de l'influence de l'altitude, mais il ne faut pas oublier que ces deux postes sont à environ 2000 m de différence de niveau. Les anémographes de ces deux stations

<sup>1</sup> Annalen der schweiz. Meteorologischen Zentral-Anstalt. Zurich.

étant identiques, il est donc préférable de choisir pour des comparaisons ces deux postes, plutôt que d'autres plus voisins, mais où les renseignements sont plus ou moins modifiés par les diverses « équations » personnelles des observateurs. Les directions N et NNE, NE et ENE, etc., sont groupées sous N, NE, etc. Le vent enregistré est exprimé en centaines de kilomètres.

TABLEAU N° 4.

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	somme en centaines de km
Zurich . . . .	64	82	37	84	74	119	123	65	651
Säntis . . . .	100	194	75	84	284	863	326	91	2016

Puisque ce paragraphe est consacré aux vents, il est indiqué de noter ici encore quelques valeurs caractéristiques dont l'intérêt sera mis en évidence au chapitre IV.

TABLEAU N° 5.

Stations	Vents enregistrés en km				
	par jour		par mois		
	maximum	minimum	maximum	moyen	minimum
Zurich . . . .	600 (1200)	50	10.000	5.400	3.500
Säntis . . . .	1000 (1800)	100	20.000	16.500	13.000

Les chiffres entre () sont des maxima rarement atteints.

L'anémographe de Zurich est bien exposé, à 35 mètres au-dessus du sol, à flanc d'un coteau, à pente douce; malgré cette situation avantageuse, les tableaux 4 et 5 mettent en lumière les écarts très importants, qui militent en faveur des mesures spatiales.

### III. — PRÉCISION DES MESURES SPATIALES.

Dans le chapitre précédent il a été admis que les mesures instrumentales au sol des éléments météorologiques, présentaient le degré désiré de précision pour l'analyse journalière.

Actuellement les mesures de pression, de température et d'humidité au sein de l'atmosphère sont faites presque exclusivement à bord d'avions. L'emploi des cerfs-volants et des ballons captifs est limité à quelques rares stations. Les pilotes des avions météorologiques sont obligés de monter lentement: ils mettent environ 30 minutes pour atteindre 5000-5500 m. Pour bien montrer que cette ascension est volontairement lente, voici quelques renseignements concernant des avions modernes:

Potez 63. Triplace de chasse: montée à 4000 m en 5'.

Nieuport 161. Monoplace de chasse: montée à 4000 m en 5'.

Hanriot H 220. Triplace de chasse: montée à 8000 m en 10'.

Les enregistrements de la pression, de la température et de l'humidité à bord des avions sont faits à l'aide d'un seul appareil désigné sous le nom de: météorographe. Les trois courbes sont inscrites sur le même cylindre. Les météorographes d'avion sont construits beaucoup plus solidement que ceux des ballons-sondes, mais ils doivent posséder cependant l'inertie la plus faible possible. En effet, il n'est pas rare que du sol à 5000 mètres:

la variation thermique soit de 40° environ,  
l'humidité fasse d'importants et nombreux sauts de 20-40% à  
90-100%,  
tandis que la pression varie régulièrement de 750-400 mm de Hg  
environ.

Les conditions de travail des météorographes sont délicates. Les vibrations de la cellule, dues au moteur, ne doivent pas être transmises au météorographe. Une trop faible ventilation équivaut à un gros retard de l'équilibre thermique du thermomètre bimétallique, une trop forte ventilation risque de créer un réchauffement par frottement de l'air sur le bimétallique. Le carter qui enveloppe le météorographe ne doit pas troubler le champ de la pression, aussi bien sous 760 que sous 400 mm de Hg. Actuellement la précision obtenue serait — d'après les renseignements transmis chaque jour par T.S.F. — de:

1 mm de Hg pour la pression,  
0,1° C pour la température,  
1% pour l'humidité relative.

Ces valeurs correspondent aux résultats des études en laboratoire. Même en admettant que parfois dans la pratique journalière la pression n'est connue qu'à  $\pm 2$  mm de Hg, la température à  $\pm 1^\circ$  C, l'humidité à  $\pm 2\%$ , il est aisément de constater que ces renseignements « spatiaux » valent mieux que ceux mesurés au voisinage du sol, dans la zone très perturbée : pas de réductions de pression, pas d'inconvénients dus aux nappes d'air froid ou surchauffé, évolution diurne minimale, etc. L'étude de l'enregistrement séparé — à bord des avions — de la température, de la pression et de l'humidité est de nouveau reprise. Il est permis d'espérer que la précision des mesures aérologiques augmentera encore.

#### IV. — MÉTÉOROLOGIE SPATIALE.

Dans ce chapitre, je me limiterai aux renseignements pratiques de la pression, de la température et de l'humidité, compris entre le sol et 6000 mètres. Pour ne pas étendre cette Note, je ne dirai rien des essais nouveaux et très intéressants qui sont entrepris en de nombreux endroits mais qui ne sont pas encore entrés dans le stade d'utilisation pratique et journalière.

Les sondages aérologiques remontent à Teisserenc de Bort; ce n'est qu'après la grande guerre et grâce aux rapides progrès de l'aéronautique qu'ils prirent un grand essor et une utilité pratique. Actuellement ils sont exécutés quasi quotidiennement et leurs résultats sont divulgués par T.S.F. Les sondages aérologiques les plus réguliers dont nous disposons, sont ceux de: Adlercrow (Irlande), Duxford (Angleterre), Hambourg, Berlin, Königsberg, Stettin, Cologne, Francfort, Nördlingen, Munich, Breslau, Friedrichshafen, Lindenberg (Allemagne), Paris, Trappes, Reims, Dijon, Nancy, Lyon, Pujaut, Marseille, Châteauroux, Cherbourg, Casaux (France), Schiphol, de Bilt (Hollande), Milan, Rome (Italie), Malte, Marrakech (Maroc), Kjeller (Norvège), Utti (Finlande).

Ces sondages sont quelquefois complétés par des radio-sondages<sup>1</sup> poussés jusqu'à 15 km et plus d'altitude.

<sup>1</sup> Une radio-sonde se compose d'un météorographe spécial et d'un émetteur sur ondes courtes. Le météorographe commande le fonc-

La nécessité de connaître les courants aériens pour l'aéronautique commerciale, contribua à un rapide développement des mesures du vent à différents niveaux à l'aide de ballons-pilotes. Ces mesures ne peuvent être faites que jusqu'à l'altitude où le ballon disparaît dans les nuages. Elles sont effectuées sur presque tous les aéroports et également à d'autres stations météorologiques, bien situées, tant de jour que de nuit, à des intervalles de temps très variables: 6 à 24 heures. Enumérer tous ces postes mènerait trop loin; pour donner cependant une idée de la densité de ce réseau, je me limiterai à signaler les stations de Suisse et des environs immédiats de notre pays: Genève, Bâle, Zurich (Suisse), Sarrebruck, Mannheim, Francfort, Stuttgart, Friedrichshafen, Munich, Nuremberg (Allemagne), Lyon, Lanslebourg, Montélimar, Mont Ventoux, Dijon, Strasbourg, Nancy (France), Turin, Milan, Venise (Italie). Les ballons-pilotes sont suivis parfois jusqu'à plus de 20 km d'altitude.

Les observations aérologiques ne font pas encore l'objet d'émissions collectives internationales; il faut donc capter un grand nombre d'émissions nationales et régionales pour rassembler les renseignements suffisants à une analyse spatiale.

De nombreux diagrammes permettent d'analyser les sondages thermiques; les plus connus sont ceux de Shaw, Stüve, Schinze, Robitzsch et de Refsdal. Par exemple à l'aide du diagramme de Stüve, il est facile de:

- 1<sup>o</sup> déterminer l'altitude à laquelle se formeraient des cumuli — point de condensation — si la masse d'air qui est aux environs du sol s'elevait assez haut;
- 2<sup>o</sup> connaître le genre et le degré d'équilibre des masses d'air en dessus du point de condensation et aux différentes altitudes;
- 3<sup>o</sup> repérer les limites verticales des différentes masses d'air;

tionnement du poste émetteur; le tout, avec antenne et batteries, ne pèse que 1,5 kg. En Allemagne et en Finlande, le poids d'autres radio-sondes a pu être abaissé à quelque 100 gr. La radio-sonde est suspendue à un ballon de caoutchouc de quelques m<sup>3</sup> de volume.

- 4<sup>o</sup> déterminer le point de condensation au sein de chaque masse d'air;
- 5<sup>o</sup> calculer graphiquement les altitudes des différents points caractéristiques;
- 6<sup>o</sup> connaître la perte possible d'humidité absolue due aux précipitations par suite de l'élévation de l'air d'un niveau à un autre;
- 7<sup>o</sup> calculer la densité.

Les diagrammes de Schinze, basés sur la température équivalente-potentielle, permettent de repérer très facilement les diverses masses d'air, leur degré d'équilibre et d'avoir ainsi un aperçu de la situation météorologique locale.

Chaque sondage peut être étudié à deux points de vue:

- 1<sup>o</sup> évolution locale: de la pression ( $p$ ), de la température (T), de l'humidité (H), de la stabilité (S) en fonction de l'altitude ( $h$ ) à la verticale d'un lieu et en fonction du temps;
- 2<sup>o</sup> étude synoptique de tous les sondages, effectués plus ou moins en même temps.

La première solution consiste à suivre seulement l'évolution des divers éléments, comme on le fait au sol à l'aide des barogrammes, thermogrammes, etc.; elle permet d'établir un bon diagnostic du temps en un point mais il n'est pas possible de baser une prévision à longue échéance sur ces renseignements seuls.

La deuxième solution est de beaucoup la plus intéressante; comment représenter tous ces sondages pour qu'ils donnent une idée claire de l'état et de l'évolution du temps ?

Divers essais furent faits:

- 1<sup>o</sup> un diagramme par jour et par station;
- 2<sup>o</sup> un diagramme par semaine et par station, complété chaque jour par le nouveau sondage (même système de coordonnées pour toutes les courbes);
- 3<sup>o</sup> un diagramme par semaine et par station sur papier transparent, complété chaque jour par le nouveau sondage. Ce papier transparent — sur lequel les sondages sont

dessinés et analysés — est appliqué sur un diagramme, de Stüve par exemple; chaque jour il est glissé d'une certaine longueur vers la gauche. A chaque jour correspond ainsi un système de coordonnées rectangulaires.

- 4<sup>o</sup> un diagramme par jour pour toutes les stations, sans tenir compte de leur répartition géographique. Sur ce diagramme, en papier transparent, toutes les stations sont les unes à côté des autres et possèdent chacune leurs systèmes de coordonnées ( $p$ , T et  $p$ , H). Pour dessiner et analyser par «transparence» un sondage quelconque, il suffit de faire coïncider le système de coordonnées de la station avec celui du diagramme de base, de Stüve par exemple.
- 5<sup>o</sup> un diagramme par semaine pour toutes les stations. Cette solution correspond à la réunion des cas 2 et 4;
- 6<sup>o</sup> diverses coupes atmosphériques — parallèles ou se couplant sous un angle voisin de  $90^\circ$  — tenant compte de la situation géographique des postes. Chaque coupe correspond à un diagramme semblable à celui décrit sous 4 mais sur lequel il n'y a qu'un certain nombre de sondages.

La représentation qui, pour l'instant, me semble donner les meilleurs résultats, est la suivante:

1. Tous les sondages thermiques sont projetés orthogonalement sur l'une des deux coupes N-S ou W-E, comme le montre la figure 1. Chaque jour, deux diagrammes sont dessinés sur papier transparent; le premier correspond à la coupe N-S, le deuxième à la coupe W-E. Les systèmes de coordonnées ( $p$ , T) liés à chaque station sont reportés sur chaque coupe dans l'ordre des projections de la figure 1 et en tenant rigoureusement compte des distances relatives AB, AC, etc.,  $ab$ ,  $ac$ , etc. Par transparence, à l'aide d'un diagramme Stüve quelque peu modifié — après que les systèmes correspondants de coordonnées de chaque station aient été à tour de rôle superposés au diagramme de base — les courbes d'état ( $p$ , T) et ( $p$ , H) sont dessinées pour chaque poste. Les points de condensation, les zones de stabilité ou d'instabilité sont ensuite déterminés.

Cette étude synoptique des sondages thermiques présente un

inconvénient. Elle ne permet pas de saisir aisément les variations d'un jour à l'autre dues à l'arrivée de nouvelles masses d'air ou dues aux variations d'altitude des anciennes. Des trois éléments: pression, température et humidité, celui qui différencie le plus facilement les diverses masses d'air est en général la température. Pour cette raison, sur les coupes N-S et W-E, en reliant les points d'égale température (par exemple — 10, 0 et + 10°) d'un sondage thermique au suivant, on obtient une première idée des variations d'altitude des surfaces isothermes considérées. Si, sur le diagramme d'un jour quelconque, on

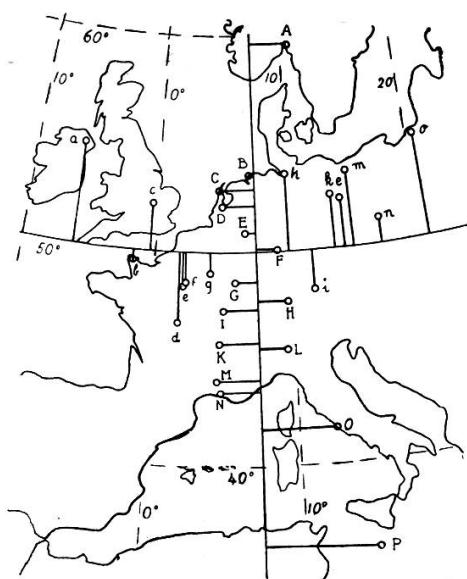


Fig. 1.

reporte également les isothermes — 10, 0 et + 10°, etc., du jour précédent, l'intervalle entre les courbes thermiques correspondantes donnera non seulement les zones, mais aussi une idée de l'importance des variations de température au cours des dernières 24 heures, à la verticale du lieu de chaque sondage. La figure 2 représente un fragment de coupe.

En superposant les diagrammes complètement restitués, il est également aisément de suivre, dans chaque coupe, le déplacement, élévation ou affaissement des masses d'air, l'augmentation ou la diminution de la stabilité.

2. Chaque jour, sur une feuille en papier transparent, les températures équivalentes potentielles ( $\Theta$ ) de tous les sondages thermiques sont dessinées dans un même système de coordonnées rectangulaires (en abscisse les  $\Theta$ , en ordonnées les  $p$ ). Ce diagramme permet d'identifier les diverses masses d'air, de les situer en altitude et d'avoir une idée de leur répartition géographique, de même que de leur état d'équilibre.

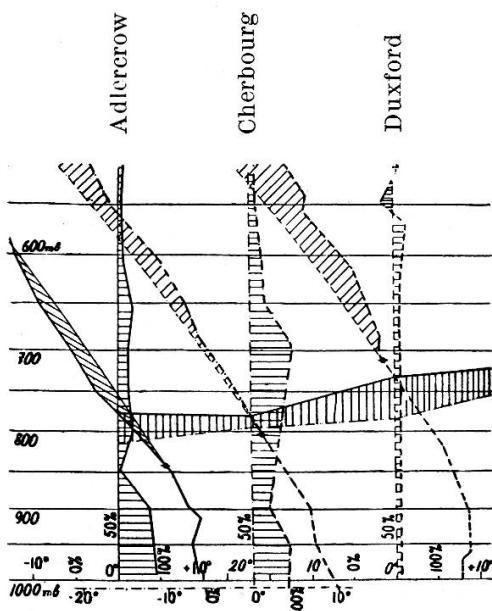


Fig. 2.

|||| = air stable.

\|\| = air unstable.

||| = humidité relative comprise entre 50 % et 100 %.

||| = humidité relative comprise entre 0 et 50 %.

|||| = élévation de température au cours des 24 h. séparant les deux sondages.

Les traits épais correspondent aux courbes d'état.

3. La direction et l'intensité des vents aux altitudes 1000, 2000 ... 8000, 9000 etc., m sont représentées à l'aide de symboles spéciaux sur des cartes géographiques simplifiées, semblables à celles employées pour reporter les renseignements des heures dites synoptiques. La précision de ces mesures du vent varie; dans certains cas, les erreurs peuvent atteindre 20% et plus.

De ces cartes, il est aisément de déduire les principaux courants, de connaître leurs développements horizontaux à divers

niveaux, leurs rotations en fonction de l'altitude, leurs variations d'intensité dans les plans horizontaux et verticaux.

Ces quatre diagrammes (coupes N-S et W-E,  $\Theta$  gramme et cartes des vents) permettent de faire facilement un bon diagnostic de la situation météorologique, mais souvent les phénomènes sont si compliqués qu'il est préférable de dessiner encore d'autres cartes qui représentent mieux la répartition géographique des divers éléments analysés.

En calculant les altitudes des points de pression 900, 700, 600, 500 mb de chaque sondage et en notant ces cotes à l'endroit du poste sur des cartes géographiques, on obtient aisément une représentation topographique des diverses surfaces isobariques.

Dans le but de compléter le nombre des renseignements aérologiques il est possible — aux altitudes inférieures à 3.000 m, — de faire appel aux mesures effectuées sur quelques montagnes.

Ces cartes isobariques complètent la carte synoptique des pressions réduites au niveau de la mer. Elles peuvent être dessinées avec beaucoup de régularité (il est bien rare qu'un pilote n'effectue pas son vol météorologique pour cause de mauvais temps: brouillard, givrage, violents vents). La répartition des isobares et des courbes de niveau aux différentes altitudes peut être semblable ou donner lieu à des images bien différentes.

Par mauvais temps (ciel couvert bas) il est impossible: soit d'effectuer les sondages du vent à l'aide des ballons-pilotes, soit de suivre ceux-ci jusqu'à une altitude suffisante. Cependant il serait utile de connaître les courants au sein des nuages, ou plus haut, au-dessus de ceux-ci pour conseiller aux pilotes des avions commerciaux de naviguer à telle ou telle altitude, par exemple 1500 ou 4000 m. Les lignes de niveau des cartes isobariques 900, 800, etc. mb indiquent la direction la plus probable du vent, les lignes de plus forte pente donnent une notion de l'intensité du courant aérien à cette altitude.

D'après mes expériences, au cours de ces trois ans, l'évolution de la pression au niveau 500 mb semble précéder l'établissement des courants aériens dans les basses couches de l'atmosphère; si la ligne de plus grande pente devient plus raide, l'intensité

des vents augmentera généralement au voisinage du sol au cours des heures suivantes (12-24 heures); au contraire, si l'inclinaison de la ligne de plus grande pente diminue, les vents faibliront à basse altitude au cours des heures suivantes. Un autre point mérite d'être noté. Lorsque les sondages par ballons-pilotes sont poussés assez haut (4000-6000 m) il est utile de comparer la direction et la force des vents observés à l'allure des courbes de niveau. Généralement, la direction du vent leur est parallèle, mais il arrive quelquefois qu'elle leur est perpendiculaire. Si ce dernier cas se produit, un notable changement de temps est à prévoir, même si on n'en trouve aucun symptôme sur la carte synoptique normale du temps. Ce genre d'anomalie, de même que la relation entre le vent observé et l'inclinaison de la ligne de plus grande pente feront l'objet d'une étude systématique au cours de cet été.

Les courbes de niveau tracées de 25 en 25 ou de 50 en 50 m ne chargent pas beaucoup les cartes topographiques 900, 800, etc. mb; les humidités relatives à ces divers étages peuvent également y être notées. Les zones de forte humidité 80, 90, 100% surprennent par leurs faibles étendues, aux altitudes élevées en particulier, et par la régularité de leur déplacement. Au contraire, au sol, les zones d'égale humidité relative sont sujettes à d'importantes variations diurnes et géographiques. Si l'altitude des surfaces isothermiques (10, 0, — 10° C) varie trop d'un poste de sondage à l'autre, il est aisé de dessiner des cartes topographiques de ces surfaces isothermiques, semblables à celles des surfaces isobariques 900, etc. mb.

Les dangers de givrage des avions en vol, si fréquents pour les températures comprises entre + 4 et — 6° C mettent en évidence la nécessité de connaître, en chaque endroit, la hauteur de la surface isothermique de zéro degré. L'altitude de cette surface peut être exprimée en mètres — si l'on admet d'effectuer de longs calculs — ou simplement à l'aide des pressions, les hautes pressions correspondant à de faibles hauteurs, les basses pressions à de plus ou moins grandes altitudes.

Les températures mesurées au sol, outre qu'elles sont très influencées par le voisinage de la terre, par l'évolution thermique journalière, etc., appartiennent en quelque sorte, à une série

de coupes horizontales juxtaposées (dues au relief) complètement indépendantes de la situation météorologique, tandis que la topographie des surfaces isothermiques en pleine atmosphère est liée aux différentes masses d'air et les délimite, dans une certaine mesure.

Ce n'est qu'en se servant des diagrammes ( $p$ ,  $\Theta$ ) de Schinze, qu'il est possible d'identifier réellement les différentes masses d'air. En dessinant des cartes spéciales des températures équivalentes-potentielles  $\Theta$  — comme précédemment pour  $p$  et  $T$  — pour les différents niveaux 900, 800., etc. mb, on détermine aisément les régions occupées par les masses d'air arctiques polaires ou tropicales.

Tous ces documents: coupes N-S et W-E, diagrammes ( $p$ ,  $\Theta$ ), cartes topographiques de certaines surfaces isobares ou isothermes et cartes de répartitions des masses d'air, ne sont pas restitués d'une manière bien homogène, mais ils sont dessinés dans le but de servir à la prévision du temps; par conséquent, ils doivent être rapidement établis et facilement interprétés.

Ces documents permettent de connaître l'état de l'air (température, équilibre, humidité, pression), les mouvements verticaux, la répartition spatiale et d'identifier les masses d'air du sol à 5-6000 mètres. D'autre part, si on fait également appel aux cartes journalières des courants aériens (dont l'aire est plus étendue que celle des sondages thermiques) il est facile de prévoir le défilé des masses d'air dans une région donnée. Comme nous pouvons connaître par les sondages thermiques les caractéristiques de ces différentes masses d'air, il est plus aisés d'estimer les réactions qu'elles subiront au contact ou au passage d'un important obstacle orographique (les Alpes, par exemple) que si nous ne possédions qu'une carte synoptique au sol.

Cette multitude de cartes, diagrammes, coupes, augmente nécessairement le travail dans les centres de prévision, mais j'estime que les résultats obtenus légitiment amplement l'augmentation de main-d'œuvre. Grâce à cette analyse spatiale et malgré la méthode que nous employons, qui certes n'est pas encore la meilleure, je constate avec un vif plaisir l'assurance avec laquelle il est possible de rédiger une prévision et la précision

sion qu'il est possible d'obtenir. Tout ce travail ne nous met pas encore à l'abri de désagréables mais rares surprises.

La validité d'une prévision varie beaucoup d'une situation météorologique à l'autre. Dans l'état actuel des choses, elle ne peut guère dépasser 36 heures et sera souvent bien plus courte. En effet, nous ne connaissons l'état des masses d'air que dans un rayon assez restreint autour de Zurich. Le tableau n° 6 donne un aperçu de cette situation.

TABLEAU N° 6.

Secteur par rapport à Zurich	Distance de Zurich en km	Noms des postes de sondage dans cette direction	Remarques
N	700	Nordeney	—
NW	900	Duxford	à 1300 km sondage de Belfast.
W	400	Châteauroux	—
SW	800	Cazaux	à 2000 km, sondage de Marrakech.
S-SE	500	Marseille	à 1300 km, sondage de Malte.
"	200	Milan	—
E	250	Munich	—
NE	1200	Königsberg	—

La validité maximale d'une prévision basée sur l'analyse spatiale est égale à la distance entre le centre de prévision et le poste de sondage le plus éloigné (deuxième colonne du tableau 6) sous le vent, divisée par la vitesse moyenne du vent entre 2000 et 3000 mètres. Prenons quelques exemples:

- 1) Vent régulier de SW de 550 km/jour à 2500 m. La prévision sera, si rien de spécial n'est à prévoir, valable pour 35 heures.
- 2) Vent régulier du SW de 370 km/jour. La prévision serait valable pour 53 heures, si rien de spécial n'est à prévoir, mais tant de changements sont possibles en 2 jours  $\frac{1}{4}$  !
- 3) Vent régulier du SW de 1800 km/jour; la prévision sera valable pour 11 heures environ.

Dans ce dernier cas, si la prévision doit être donnée pour une échéance plus éloignée, il sera nécessaire de la diviser en deux parties: la première pourra être basée sur l'analyse spatiale, la seconde devra être basée sur de tout autres considérations.

Le fait que la validité de la prévision du temps, basée sur l'analyse spatiale, dépend en particulier de l'aire au sein de laquelle des sondages thermiques sont effectués, prouve la nécessité qu'il y a à créer une organisation internationale au sujet de la répartition des postes aérologiques. Même par vents violents, la validité des prévisions en Suisse pourrait être accrue si des sondages thermiques journaliers étaient effectués au Portugal, en Espagne et en Bretagne.

L'exploitation, dès cet été, des lignes commerciales aériennes sur l'Atlantique Nord permettra peut-être d'obtenir des renseignements aérologiques sur les masses d'air situées encore sur l'Océan.

Zurich, février 1937.

*P.S.* — Au cours de cet été, le désir d'accélérer l'étude de l'analyse spatiale des masses d'air nous a amenés à Dubendorf à réaliser un sérieux gain de temps. Nous avons transformé géométriquement le diagramme de Stüve et nous l'avons complété par une famille de courbes nouvelles. Actuellement, des courbes d'état ( $p$ , T) et ( $p$ , H) nous déduisons directement les valeurs des points de la courbe ( $p$ ,  $\Theta$ ), sans avoir besoin de la tracer. Une note à ce sujet paraîtra prochainement; elle est rédigée par M. Schuepp que j'ai chargé de la mise au point de ce nouveau stade de nos méthodes de travail.

Zurich, octobre 1937.

---