Un cas d'oscillation d'une couche d'inversino de température

Autor(en): **Bouët, Max**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles**

Band (Jahr): **58 (1933-1935)**

Heft 234

PDF erstellt am: **04.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-272174

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Un cas d'oscillation d'une couche d'inversion de température

PAR

Max BOUET

(*Séance du 6 décembre 1933.*)

Avertissement. — La participation de la Suisse à l'Année Polaire internationale 1932-33 décidée par la Commission fédérale de météorologie comprenait entre autres un programme d'études de météorologie dynamique en Suisse même. A cet effet et sur l'initiative de MM. P. L. Mercanton et E. Nicola, une station météorologique a été créée au Marchairuz. Les recherches entreprises par les sus-nommés et l'auteur feront l'objet d'une ou de plusieurs publications ultérieures. La présente étude est un premier résultat, un peu spécial, de ces recherches; il a paru utile de la publier d'ores et déjà, sans attendre l'achèvement du programme d'ensemble envisagé.

* * *

Les 14 et 15 janvier 1933, le thermogramme de la station météorologique du Col du Marchairuz (Jura vaudois; 6° 15' E, 46° 33' N, 1450 m.) a présenté un aspect très particulier dont nous essayons de donner ci-dessous une interprétation convenable.

Du 14 à 23 h. 25 au 15 à 5 h. 40, la température au Marchairuz s'est élevée de —14° à —6°; de plus cette hausse s'est produite par bonds successifs, de telle sorte que la courbe affecte dans cet intervalle de temps la forme d'une sinusoïde, ou plutôt d'arcs juxtaposés dont l'amplitude est en moyenne de 2°. L'impression très nette d'un mouvement oscillant se dégage de cette portion de l'enregistrement (fig. 1).

La situation générale ces jours-là était la suivante. Un anticyclone continental (hautes pressions sibériennes) couvrait la majeure partie de l'Europe orientale. La Suisse se trouvait donc en bordure de cet anticyclone formé dans sa partie inférieure au moins d'air continental froid d'origine asiatique. En Suisse l'air froid s'était étalé en une couche relativement mince,

et sa limite supérieure était marquée par une inversion de température importante, de l'ordre de 8°. Les observations de montagne ainsi qu'un sondage effectué le 14 à Friedrichshafen [1] permettent de fixer comme suit la structure verticale de la basse atmosphère sur le Plateau suisse le 14 janvier. Du sol jusqu'à la base de la couche d'inversion (1623 m.) existe un gradient vertical de température négatif de 0,8° par 100 m.; dans la couche d'inversion dont l'épaisseur est de

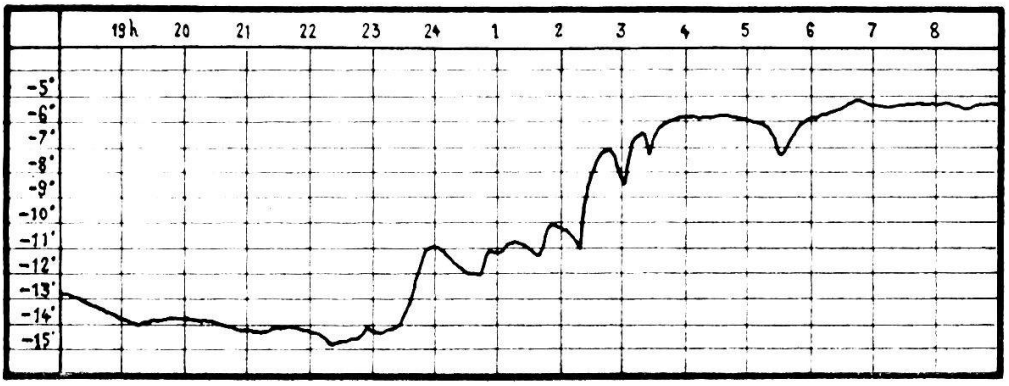

FIG. 1.

445 m. le gradient est positif et sa valeur est de 1,5° par 100 m.; au-dessus de la couche d'inversion enfin, le gradient est nul ou faiblement négatif, puis devient nettement négatif depuis 2500 m. environ. Cette stratification extrêmement stable s'est maintenue dans ses grandes lignes les 13, 14 et 15 janvier. Au niveau de la couche d'inversion s'est formé un stratus (mer de brouillard) compact en Suisse orientale, quelque peu lacunaire en Suisse occidentale. C'est donc en résumé la situation typique des anticyclones d'hiver, avec temps couvert en plaine et ciel serein sur les hauteurs, telle qu'elle apparaît fréquemment dans nos régions dans la saison froide.

Un examen plus attentif montre que l'altitude de la couche d'inversion a varié considérablement au cours des trois journées en question. Le 13 au matin, la mer de brouillard (niveau supérieur) est à 1600 m.; elle s'élève ensuite à 1900 m. et atteint probablement 2000 m. dans la nuit; le matin du 14, elle est redescendue à 1700 m.; on l'observe à 1500 m. le soir, et à 1300 m. le matin du 15; l'après-midi du même jour elle n'est plus qu'à 1000 m. environ et s'est alors en grande partie

[1] Le 15 janvier étant un dimanche, il n'a malheureusement pas été fait de sondage à Friedrichshafen ce jour-là.

dissipée. On constate donc un mouvement ascendant de la couche d'inversion de température, suivi d'un mouvement descendant, l'amplitude totale étant de 1000 m. environ. Cela revient à dire que la couche d'air froid reposant sur le sol a augmenté, puis diminué d'épaisseur. L'augmentation d'épaisseur de la couche s'explique aisément par l'afflux d'air froid issu du corps central de l'anticyclone à la suite d'une augmentation du gradient de pression en Europe centrale. La diminution subséquente de cette épaisseur résulte du creusement qui se produit dès le 14 au NW du continent où apparaissent de petites perturbations; le gradient de pression s'établit alors à peu près en direction W - E et provoque un écoulement vers le N ou le NW des masses froides de l'Europe centrale. Dans la nuit du 14 au 15, le foehn prend naissance dans les Alpes et se substitue au vent du NE en altitude.

Considérons maintenant de plus près les phénomènes qui se sont produits au Marchairuz lors de l'abaissement général du niveau supérieur de la couche d'air froid dans la nuit du 14 au 15. Le Marchairuz se trouvait les 13 et 14 au-dessous de la couche d'inversion de température, puis a émergé peu à peu de l'air froid dans la nuit du 14 au 15 et s'est trouvé finalement dans l'air relativement chaud surmontant la dite couche d'inversion. La variation totale de température observée en ce point fut de 9,5°.

Il reste à interpréter — et c'est là l'objet principal de cette étude — les variations de température à courte période enregistrées au Marchairuz durant le passage de la couche d'inversion animée d'un mouvement descendant. Deux hypothèses sont à envisager: 1. Il pourrait s'agir d'un mouvement d'oscillation du lac d'air froid reposant sur le Plateau suisse, venant se superposer au mouvement lent de descente du niveau supérieur de ce lac; 2. On pourrait avoir affaire à des vagues se produisant au niveau de la couche d'inversion, au contact des deux courants, l'inférieur (froid) de NE et le supérieur (chaud) de SE; de telles vagues ont été depuis longtemps mises en évidence dans des conditions analogues.

Examinons la première hypothèse. Un *balancement périodique* du lac d'air froid enserré entre les Alpes et le Jura produirait en un point fixe des mouvements verticaux alternativement ascendants et descendants révélés par des variations de température puisqu'il existe un gradient vertical de température. En particulier, un abaissement de la couche d'inversion participant à ce mouvement serait indiqué par une hausse de température, et une élévation, par une baisse. En admettant

que les phénomènes, vu leur lenteur relative, ne sont pas adiabatiques, nous pouvons aisément calculer l'amplitude de ce mouvement oscillant *en un point fixe* (Marchairuz). En effet, des variations périodiques de température observées, on peut déduire les déplacements verticaux de l'air. Le thermogramme du Marchairuz indique 5 périodes successives décroissantes de l'oscillation de température, allant de 70 à 25 min.; une sixième baisse de température (vers 5 h. 30) ne révèle qu'une demi-période de 30 min.: la station se trouve à ce moment dans l'air chaud isotherme où le thermomètre ne peut donc plus révéler de mouvement vertical et où seul un dernier assaut de l'air froid a été enregistré. Le gradient vertical de température dans la couche d'inversion étant comme nous l'avons déjà dit de 1,5° par 100 m. (positif), à 1° de variation de température correspond un déplacement vertical de 67 m. On peut donc calculer de la sorte l'amplitude des mouvements verticaux observés en un point fixe.

Il est toutefois plus intéressant de connaître ces amplitudes *par rapport au niveau d'équilibre* de l'air froid; il suffit pour cela de retrancher de l'équation du mouvement d'une particule d'air par rapport au sol le terme qui représente le mouvement d'affaissement général de l'air froid. Nous supposons ce mouvement uniforme et nous calculons sa vitesse à l'aide des heures extrêmes du passage de la couche d'inversion au Marchairuz et de l'épaisseur de cette couche (440 m.); nous avons trouvé $u = 1{,}2$ m/sec. En passant au nouveau système de référence entraîné vers le bas avec la vitesse u, il faudrait poser $u = 0$ dans l'équation générale du mouvement de la forme

$$s = ut + a \sin bt^n, \tag{1}$$

équation comportant probablement d'autres termes périodiques. En pratique nous ne nous sommes pas servi de la relation (1) malaisée à établir sur si peu de données, mais nous avons simplement retranché des amplitudes individuelles calculées comme plus haut le terme ut pour les temps y relatifs. L'allure de la courbe du mouvement défini de la sorte est donnée dans la fig. 2. Cette courbe est donc en définitive celle qu'aurait tracée un limnigraphe entraîné verticalement vers le bas avec la vitesse u. Elle ne peut que donner l'ordre de grandeur des oscillations rapportées au niveau d'équilibre; ses irrégularités en apparence bizarres proviennent sans doute du fait qu'en réalité le mouvement d'affaissement n'était pas uniforme et que d'autre part le gradient vertical de température dans la

couche d'inversion n'était pas constant. Il semblerait qu'une oscillation à longue période vienne se superposer aux oscillations plus courtes, mais il serait hasardeux d'insister sur ce point en l'absence de données plus précises et plus abondantes. En tous cas, la période des oscillations diminue avec le temps, et on peut en trouver une explication dans le fait que le bassin d'air froid, assez mal déterminé d'ailleurs, se rétrécit peu à peu. En effet, dans la formule des seiches

$$n = \frac{p}{2a}\sqrt{gh}\,, \tag{2}$$

la fréquence n est inversement proportionnelle à la longueur du bassin a; il se pourrait donc dans notre cas que la diminution de a compensât et au delà la diminution de h (profondeur).

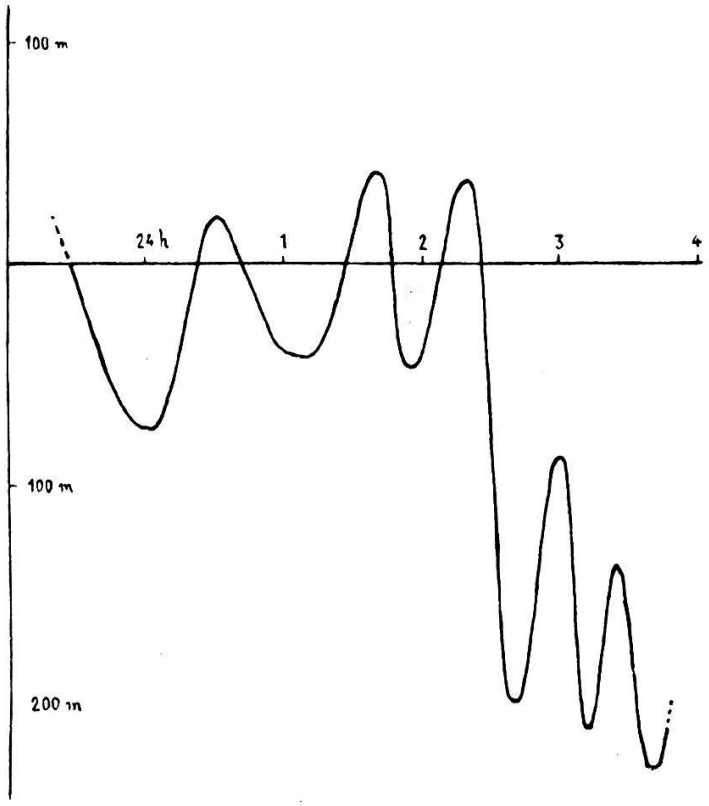

FIG. 2.

Il est évident qu'une discussion approfondie de ce mouvement harmonique ne saurait être fructueuse si l'on ne dispose pas d'un second tracé obtenu en un autre point du bassin d'air froid. Il n'existe malheureusement pas d'autre station située à la même altitude que le Marchairuz, ni dans le Jura, ni dans les Alpes, et munie d'appareils enregistreurs.

Aussi est-il impossible de savoir s'il s'agit d'oscillations longitudinales ou transversales, s'il y a ou non interférence de plusieurs balancements de périodes différentes, si enfin le balancement est uni- ou plurinodal.

Examinons en second lieu si le phénomène observé au Marchairuz peut s'interpréter au moyen de *vagues* se produisant au niveau de la couche d'inversion. Cette dernière étant dans le cas particulier d'une épaisseur assez considérable (400 m.), la mécanique d'une houle dont elle serait le siège n'est pas très facile à établir. Nous nous contenterons d'utiliser une formule approchée donnée par Wegener [1], exprimant la longueur d'onde de ces vagues en fonction de la discontinuité de vent v et des densités m_1 et m_2 des deux masses d'air superposées. La longueur d'onde est:

$$l = \frac{\pi}{2g} v^2 \frac{1 + \frac{m_2}{m_1}}{1 - \frac{m_2}{m_1}}. \tag{3}$$

Nous supposons l'air froid inférieur immobile; la station des Rochers de Naye (1980 m.) nous fournit la vitesse du courant supérieur, soit 5 m./sec. environ; les températures de part et d'autre de la couche d'inversion (ramenée à la surface idéale) sont respectivement de 254,7° et 263,9° abs.; on obtient $l = 226$ m, ordre de grandeur qui correspond parfaitement à celui que l'on observe à cette altitude dans des cas analogues. Une houle de cette nature, entraînée à une vitesse de 5 m./sec., devrait produire en un point fixe des variations de température dont la période serait de 225: 5 = 45 sec., soit de l'ordre de la minute. Les périodes observées au Marchairuz étant 30 à 70 fois plus grandes, il est très peu vraisemblable qu'une houle, d'ailleurs fort possible, soit à l'origine des variations de température observées.

Nous pensons que l'hypothèse des oscillations transversales ou longitudinales de la masse d'air froid comprise entre les Alpes et le Jura doit être admise jusqu'à plus ample informé. Un sérieux argument en sa faveur réside dans le fait qu'un tel balancement, comparable en tous points aux seiches de nos lacs, est visible pour un observateur qui examine attentivement la surface supérieure des mers de brouillard qui s'étendent dans les vallées préalpines. Nous avons personnellement

[1] A. Wegener. — Studien über Luftwogen. — *Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre,* Bd. 2, 1906.

noté le fait à maintes reprises dans la plaine du Rhône lorsque la mer de brouillard se maintient autour de 1400 m.: un va-et-vient périodique du brouillard sur les flancs des montagnes semble bien manifester ce balancement de l'air froid sous-jacent.

L'*origine* du phénomène ci-dessus décrit n'est pas facilement décelable. Il suffirait en effet d'une faible variation de pression initiale pour provoquer l'oscillation du lac d'air froid envisagé et dont l'amplitude peut croître notablement en un point donné par suite d'interférences. De plus, cette variation de pression ne doit pas nécessairement s'être produite à l'endroit même où le phénomène est observé; elle a pu avoir son siège en dehors de nos frontières dans le cas particulier.

Signalons cependant que le début des oscillations au Marchairuz coïncide à une demi-heure près avec le début de la baisse de pression qui se fait sentir en plaine. A Genève, par exemple, la pression, quasi constante le 14 janvier, commence à baisser le soir de ce jour, vers 23 h. Voyons au préalable dans quelle mesure cette baisse peut s'expliquer par le réchauffement qui s'opère à ce moment en altitude. La variation de pression qui résulterait du réchauffement de l'atmosphère entre 1100 et 1400 m. qui s'est produit entre 23 h. le 14 et 4 h. le 15 est donné par la relation

$$dp_0 = -\frac{gz}{RT_m} p_0 \frac{dT_m}{T_m} \tag{4}$$

obtenue par différentiation de l'équation fondamentale de la statique

$$p_0 = p\, e^{\frac{gz}{RT_m}}, \tag{5}$$

dp étant nul à la limite supérieure de la couche intéressée par le réchauffement. Dans notre cas, on a: $z = 400$ m.; $p_0 = 878$ mb; $T_m = 263^0$, $dT_m = 9{,}4^0$; on trouve $dp_0 = -1{,}2$ mb au niveau de 1100 m. Cette variation de pression est identique à celle qui se produirait au niveau du sol, puisque la température moyenne de la couche d'air située au-dessous de 1100 m. est restée constante. Or à Genève la pression a baissé entre 22 h. (14) et 6 h. (15) de 3,6 mb. La variation de pression mesurée en plaine est donc trois fois plus grande que celle qu'entraînerait à lui seul le réchauffement des couches supérieures.

Il est clair, dans ces conditions, que la variation de pres-

sion enregistrée à Genève est en relation étroite avec l'évolution générale du champ de pression en Europe centrale. La mesure du champ isallobarique d'évolution serait ici égale à 1,2 — 3,6 = —2,4 mb en 8 h., soit —0,3 mb/h. La variation de pression observée au même moment aux Rochers de Naye, où la température est constante, est de —0,4 mb/h ; elle est pratiquement identique à celle que nous venons de déduire pour Genève, et confirme notre conclusion.

Le début des oscillations de la couche d'inversion aurait donc coïncidé avec le moment où la baisse générale de pression relative aux perturbations du NW du continent aurait atteint notre pays. Nous devons cependant faire remarquer que le thermogramme du Marchairuz révèle deux ou trois oscillations de température avant le début du passage de l'inversion (entre 19 et 23 h.), alors que la station se trouvait encore au sein de l'air froid inférieur. Ces oscillations seraient toutefois d'amplitude beaucoup plus faible.

En résumé, nous avons mis en évidence le fait qu'une masse d'air froid reposant sur le Plateau suisse et limitée à sa partie supérieure par une forte inversion de température peut être animée d'un mouvement de balancement périodique à rapprocher des seiches des lacs connues depuis longtemps.

Il est à souhaiter que de nouveaux documents apportent un jour de plus amples éclaircissements sur cet intéressant phénomène.