

Le rôle du plan neutre dans le mécanisme des vents

Autor(en): **Brun, J.-W. / Bouvier, P.-B.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Archives des sciences physiques et naturelles**

Band (Jahr): **25 (1943)**

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-742307>

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.

LE RÔLE DU PLAN NEUTRE DANS LE MÉCANISME DES VENTS

PAR

J.-W. BRUN † et P.-B. BOUVIER

(Avec 3 fig.)

INTRODUCTION.

L'étude qui constitue le présent article a été suggérée par des réflexions auxquelles s'est livré A. Angot à la page 117 de son *Traité élémentaire de Météorologie* (4^{me} édition, Paris, 1928). Reproduisons d'abord littéralement le passage dont il s'agit.

« *Cause et production du vent.*

Relation du vent avec la température.

» Si la température de la Terre et de l'atmosphère était partout la même, il n'y aurait aucune raison pour qu'il se produisît des mouvements de l'air d'une région à l'autre; le vent n'existerait pas; la cause première des vents doit donc être cherchée dans les différences de température que l'on observe à la surface du globe et dans l'atmosphère. Pour mieux comprendre le mécanisme de la production du vent, nous prendrons un exemple dans les liquides. (L'idée de l'expérience est emprunté à Sprung, *Lehrbuch der Meteorologie*, p.108, Hambourg, 1885.)

» Deux tubes verticaux AB, CD (fig. 1) communiquent à la partie inférieure par un tube horizontal BC et vers le haut par un autre tube GH, de même diamètre que BC, mais qui porte en son milieu un robinet R permettant d'établir ou de suppri-

mer à volonté la communication entre les parties supérieures des deux tubes verticaux. La distance verticale de BC et de GH est de 1 m; de plus, les deux tubes verticaux sont enveloppés par des manchons M et M' dans lesquels on peut faire circuler soit de l'eau soit de la vapeur, de manière à y maintenir une température constante. Tout l'appareil étant à la température de 10° C. par exemple, et R étant ouvert, on remplit les tubes jusqu'au niveau GH d'eau pure et privée d'air; puis on ferme le robinet R; on main-

tient le tube AB à une température invariable de 10° C. en faisant circuler de l'eau froide dans le manchon M, et l'on porte le tube CD à la température de 100° C. en faisant circuler de la vapeur dans le manchon M'. Dans ces conditions, l'eau du tube CD se dilate; à 10° elle

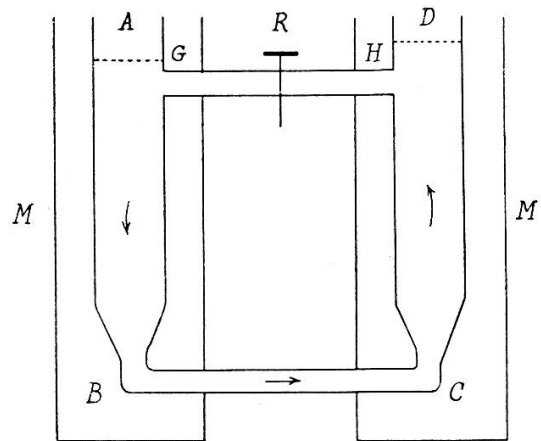


Fig. 1.

occupait une hauteur C de 1 m dans le tube; à 100° elle y occupera une hauteur de 1043 mm tandis que la hauteur de l'eau n'aura pas changé en AB. Les pressions en B et en C, au bas des deux tubes verticaux, sont toujours égales; en même temps que la hauteur du liquide contenu dans CD a augmenté, la densité de ce liquide a diminué dans le rapport inverse. Si la pression n'a pas varié dans le plan de base BC, il n'en est plus de même dans tout autre plan horizontal situé au-dessus de BC. La pression est devenue plus grande dans le tube chaud; la différence de pression de part et d'autre est proportionnelle à la distance au plan BC; en particulier en GH elle est mesurée par une colonne de liquide à 100° dont la hauteur est de 43 mm. Ouvrons le robinet R: la pression étant devenue plus grande en H qu'en G, le liquide va se mettre en mouvement de H vers G. La pression diminue en C puisqu'une partie du liquide en CD s'est écoulée; de même la pression augmente en B puisque du liquide venant de CD a passé dans AB; la

pression devenant plus grande en B qu'en C, le liquide se met en mouvement de B vers C. Si l'on maintient constante la température des deux tubes, tout le liquide prend ainsi un mouvement circulatoire dans le sens CHGBC. Quand le mouvement, accéléré d'abord, est devenu bien uniforme par suite des frottements, on remarque que dans le tube chaud, l'eau monte à 29 mm et dans le tube froid à 14 mm au-dessus du plan GH; la pression est plus élevée en H qu'en G d'une quantité mesurée par une colonne d'eau de 15 mm seulement, tandis que la différence était de 43 mm avant que le mouvement ne commençât, quand le robinet était fermé. Dans le plan BC, la pression en B est mesurée par une colonne d'eau à 10° de 1014 mm et en C par une colonne de 1029 mm d'eau à 100° qui équivaut à 987 mm d'eau à 10°.

» En résumé, par suite de la différence permanente de température établie entre les deux tubes, on voit que: 1° au fond BC la pression est devenue plus petite du côté chaud que du côté froid; 2° au sommet GH la pression est au contraire un peu plus grande du côté chaud; et 3° à une certaine hauteur au-dessus de BC (ici de 655 mm comme le montrent l'expérience et le calcul), la pression est la même dans les deux tubes. Nous appellerons *plan neutre* ce plan horizontal où la pression est la même du côté chaud et du côté froid. Au-dessous du plan neutre, la pression est, à un même niveau, plus élevée du côté chaud. »

A. Angot souligne alors l'analogie du processus décrit plus haut avec le mécanisme des vents qui circulent entre une région anticyclonique H (haute pression au sol) et une région dépressionnaire B (basse pression au sol). Pour des distances de l'ordre de 200 km au plus, les surfaces isobariques sont à peu près des plans. Toute différence de température entre les régions H et B aura pour effet de déformer ces plans d'égale pression; ils deviennent tous inclinés sauf un, qui constitue le plan neutre. Au-dessus de ce plan neutre, les plans isobariques penchent du côté B vers le côté H, et vice versa au-dessous du plan neutre. Dans l'atmosphère, il est improbable que nous retrouvions entre H et B l'établissement d'un échange en circuit fermé comme

dans l'expérience citée par Angot; nous pensons toutefois que cette idée du *plan neutre*, rapidement citée par Angot et le plus souvent passée sous silence ailleurs, mérite d'être exploitée davantage. Que se passe-t-il notamment lorsqu'un obstacle tel qu'une chaîne de montagnes se trouve entre les régions H et B ?

Au voisinage de la chaîne, les surfaces isobares de l'espace seront en général déformées; nous admettrons néanmoins que l'influence du relief montagneux ne se fait sentir qu'à une distance assez faible pour que la disposition générale des plans isobares soit la même qu'en l'absence de relief. Ceci nous permet d'envisager à nouveau le plan neutre au-dessus duquel, en vertu de l'inclinaison des plans isobares, souffle un courant allant de B vers H, tandis qu'au-dessous se manifeste un mouvement des masses d'air dans un sens opposé. Mais un tel mouvement ne sera-t-il pas contrecarré par la présence de l'obstacle du relief ? Pour répondre à cette question, nous devons connaître la hauteur du plan neutre et celle de la chaîne de montagnes. Si la seconde dépasse la première, aucun courant n'ira de H vers B, alors qu'un observateur placé sur la chaîne percevra un vent venant de la région B. Nous verrons plus loin des exemples qui confirment assez bien ce point de vue.

Mettons en garde contre la tendance qui pourrait naître, au cours de cette étude, de trop matérialiser le plan neutre et de le faire coïncider avec un plan de discontinuité tel qu'inversion de température ou couche nuageuse; ceci n'est pas une possibilité à exclure *a priori*; pour l'instant nous pouvons seulement dire avec certitude que ce plan horizontal d'égale pression représente la limite de deux courants contraires. Du modèle d'Angot, nous ne conservons donc que la notion du plan neutre ainsi définie.

CALCUL DE LA HAUTEUR DU PLAN NEUTRE.

Considérons une station S dans une zone H de haute pression (fig. 2) et une station S' dans une zone de basse pression; p_0, T_0 et p'_0, T'_0 étant la pression et la température absolue au sol, respectivement en S et en S', appelons p, T et p'_0, T'_0 ces mêmes grandeurs à une altitude y au-dessus du sol. La dis-

tance SS' est supposée ne pas excéder 200 km environ; ce serait par exemple le cas où S et S' sont deux stations au pied

des Alpes, l'une sur le versant sud, l'autre sur le versant nord. Il ne sera pas tenu compte de la courbure terrestre et les surfaces isobariques seront regardées comme des plans.

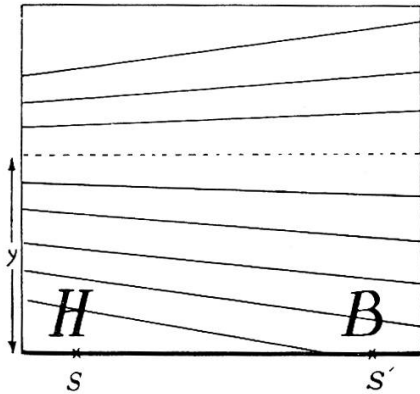


Fig. 2.

Si les gradients verticaux de température, b en S et b' en S' , sont supposés constants, alors :

$$T = T_0 - by ,$$

$$T' = T'_0 - b'y .$$

La loi de la pression de l'air sec en altitude s'écrit :

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T_0 - by}{T_0} \right)^{\frac{k}{b}} , \quad \frac{p'}{p'_0} = \left(\frac{T'_0 - b'y}{T'_0} \right)^{\frac{k}{b'}}$$

où k est un coefficient numérique valant 0,034 en unités m. k. s. On obtiendra la hauteur du plan neutre en faisant $p = p'$, ce qui donne :

$$p_0 \left(\frac{T_0 - by}{T_0} \right)^{\frac{k}{b}} = p'_0 \left(\frac{T'_0 - b'y}{T'_0} \right)^{\frac{k}{b'}}$$

Prenons les logarithmes (népériens) :

$$\log p_0 + \frac{k}{b} \log \left(1 - \frac{by}{T_0} \right) = \log p'_0 + \frac{k}{b'} \log \left(1 - \frac{b'y}{T'_0} \right) . \quad (1)$$

Afin de tirer y de cette équation, nous allons développer en série les logarithmes. Le terme positif $\log p_0 - \log p'_0$ est sensiblement égal à $\frac{p_0 - p'_0}{p_0}$ car p_0 diffère généralement peu de p'_0 ;

en outre, nous savons que les gradients de température n'excèdent pas $3,4^\circ$ C/hm et sont déjà très rarement supérieurs à 2° . Admettons *a priori*, ce que tous les exemples étudiés ont confirmé après coup, que le niveau cherché y soit inférieur à $\frac{T_0}{b}$ et à $\frac{T'_0}{b'}$; désignant par x l'une des deux quantités $\frac{by}{T_0}$ ou $\frac{b'y}{T'_0}$

nous écrirons donc:

$$\log(1-x) = -x - \frac{x^2}{2} - \frac{1}{3}\left(\frac{x}{1-\theta x}\right)^3$$

où θ est un nombre compris entre 0 et 1. Ne prenons que les deux premiers termes du développement, ce qui revient à négliger $(by)^3$ devant T_0^3 et $(b'y)^3$ devant $T_0'^3$. L'équation (1) se réduit à une équation du second degré:

$$\frac{1}{2}\left(\frac{b}{T_0^2} - \frac{b'}{T_0'^2}\right)y^2 + \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T'_0}\right)y + \frac{p'_0 - p_0}{kp_0} = 0 \quad (2)$$

dont toute racine positive correspond à un plan neutre.

Un plan neutre existera si l'on a simultanément:

$$T_0 > T'_0 \quad \text{et} \quad b > \left(\frac{T_0}{T'_0}\right)^2 b'$$

ou bien

$$T_0 < T'_0 \quad \text{et} \quad b > \left(\frac{T_0}{T'_0}\right)^2 b' .$$

Sa hauteur y aura pour valeur

$$y = \frac{\frac{1}{T'_0} - \frac{1}{T_0} + \sqrt{\left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T'_0}\right)^2 + \frac{2}{k}\left(\frac{b}{T_0^2} - \frac{b'}{T_0'^2}\right)\frac{p_0 - p'_0}{p_0}}}{\frac{b}{T_0^2} - \frac{b'}{T_0'^2}} . \quad (2')$$

En particulier, y est nul lorsque $p_0 = p'_0$; le plan neutre est alors au sol. Si $b < \left(\frac{T_0}{T'_0}\right)^2 b'$, et $T_0 > T'_0$ il n'y a certainement pas de plan neutre; d'ailleurs il suffit de remarquer que la

condition

$$b < \left(\frac{T_0}{T'_0}\right)^2 b'$$

correspond à un renforcement de l'anticyclone en altitude.

Comme la condition $b > \left(\frac{T_0}{T'_0}\right)^2 b'$ est d'autant moins restrictive que le rapport $\frac{T_0}{T'_0}$ est plus petit, on est amené à penser que le cas où $T_0 < T'_0$ est plutôt plus favorable que le cas contraire à la présence du plan neutre.

En négligeant $(by)^2$ devant T_0^2 et $(b'y)^2$ devant $T_0'^2$, on effectue une approximation beaucoup moins justifiée que la précédente, mais qui aboutit à une formule particulièrement simple. Car les logarithmes ne comprennent plus qu'un seul terme et l'équation (1), devenue du premier degré, nous donne pour y :

$$y = 29,3 \frac{p_0 - p'_0}{p_0 \left(\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T'_0}\right)}. \quad (3)$$

Cette formule ne dépend que des éléments au sol et non plus des gradients de température. Dans le cadre de cette seconde approximation, la condition d'existence du plan neutre se réduit à:

$$T_0 < T'_0$$

c'est-à-dire qu'il doit faire plus chaud au sol dans la dépression que dans l'anticyclone. La loi statique employée de la pression en altitude implique une atmosphère stable, ce qui paraît contraire à une étude de vents. Cependant, lorsque les mouvements de l'air ne sont pas trop rapides, nous pouvons conserver cette loi sans erreur appréciable. Si l'on fait varier la différence de pression seule, $p_0 - p'_0$, entre S et S', on remarque que y est proportionnel à cette différence d'après la formule (3), et la variation de y en fonction de la différence de température $T_0 - T'_0$ nous montre que, lorsque cette différence augmente, le plan neutre s'abaisse et tend vers un niveau-limite inférieur qui dépend d'ailleurs de p_0 , $p_0 - p'_0$, T_0 .

Malgré le caractère approché de la formule (3), c'est en nous basant sur elle que, faute de données sur les gradients verticaux de température, nous avons tenté les premières applications de la théorie précédente. Des résultats meilleurs seraient sans doute obtenus en utilisant la formule (2').

APPLICATIONS A DES SITUATIONS DE FOEHN
ET DE FOEHN DU NORD.

La formule (3) exige la connaissance des données de pression et de température au sol; les premières sont facilement obtenues tandis que les données de température ne sont pas toujours, pour des raisons locales, représentatives d'une station. Nous pouvons calculer, à partir de (3), la limite à laquelle peut changer la direction des vents au sol, c'est-à-dire jusqu'à quelle altitude doivent régner les vents imposés par la situation générale, altitude au-dessus de laquelle il faut s'attendre à trouver des vents divergents.

Il nous a paru particulièrement intéressant d'examiner à ce point de vue ce qui se passe dans le cas d'un vent qui, tel que le fœhn du N, du secteur NW à NNE, ou le fœhn du secteur S à SE, doit rencontrer l'obstacle formé par le barrage des Alpes (fig. 3). Si, par exemple, un anticyclone se trouve au SE des Alpes et que sur le versant N de celles-ci on ait une zone dépressionnaire, il y a situation fœhnique, mais le fœhn soufflerait-il réellement par-dessus les

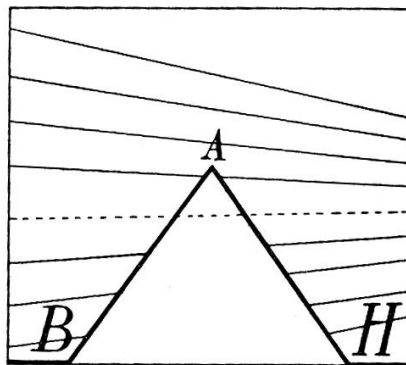


Fig. 3.

Alpes? Pas nécessairement, nous semble-t-il. Car, si le plan neutre se trouve au-dessous de la barrière alpine, le fœhn ne passera pas et sur la crête soufflera un vent contraire du secteur N, puisque au-dessus du plan neutre un plan isobarique est plus élevé du côté de B que du côté de H. Nous appellerons « contre-fœhn » ce vent du secteur N. Similairement, au-

dessus du fœhn du S soufflera un « contre-fœhn » du S. Les quelques exemples qui suivent ont été tirés de renseignements fournis par les cartes synoptiques de la Station centrale de Météorologie, à Zurich.

Le 24.11.40, la pression accuse 1032,0 mb à Zurich et 1020,8 mb à Lugano; la différence de température entre Lugano et Zurich étant de 6°, on trouve par la formule (3) le plan neutre à 4210 m, c'est-à-dire au-dessus de la ligne faîtière moyenne des Alpes. Aussi au Jungfrauoch (3573 m) est-ce un courant du NE qui souffle ce jour-là.

Dans la journée du 4.1.41, où, conformément à la disposition synoptique, règne au sol le fœhn du N, c'est un fort courant du SE qui se manifeste au Jungfrauoch; en effet, le plan neutre se situe bien au-dessous de cette station, à 2400 m environ, et coïncide à 200 m près avec une inversion de température sur tout le Plateau.

Le 12.5.41, en comparant toujours Zurich et Lugano, on constate que la pression est plus élevée à Lugano; le plan neutre est à 4060 m et au Jungfrauoch se fait sentir un vent modéré du NW; mais le lendemain la pression étant encore supérieure à Zurich de 1,6 mb, la différence de température s'est réduite à 4°, ce qui a suffi pour abaisser le plan neutre à moins de 1000 m/M. Le fœhn du N ne doit donc plus passer; effectivement, le Saentis subit un vent faible du secteur S et le Jungfrauoch un fort vent du SE.

Dans la documentation restreinte dont nous disposons, nous avons relevé encore plusieurs exemples de fœhn et de contre-fœhn du N où le plan neutre occupe bien la hauteur que faisait prévoir la direction des vents au sol et en altitude. Par contre, nous n'avons malheureusement rencontré aucun exemple probant de fœhn et de contre-fœhn du S. Pourquoi cet échec de la théorie avec le fœhn du S ? Il semble tout d'abord que la situation de fœhn du N est plus stable que celle de fœhn du S, en ce sens que l'anticyclone du NW des Alpes se déplace lentement et protège le versant N des Alpes contre l'irruption d'autres perturbations venant d'W. Dans la situation de fœhn du S au contraire, les dépressions se déplacent rapidement et balayent le versant N, détruisant la situation générale. A cet argument de

stabilité synoptique vient s'en ajouter un autre, qui fait entrer en jeu l'orientation des dépressions. Lorsqu'une dépression passe au N des Alpes, elle tourne vers celles-ci son secteur chaud limité par les deux fronts; les gradients verticaux de température ne sont sans doute plus constants, au moins lors du passage des fronts, et la loi simple de pression en altitude que nous avons invoquée n'est plus vérifiée. Par contre, la dépression de Lombardie-Vénétie d'une situation de fœhn du N nous présente son secteur N dépourvu de discontinuités isobariques ou thermiques.

CONCLUSION.

Nous avons regardé dans cette étude l'atmosphère comme formée d'air sec; pour être plus correct, il eût fallu tenir compte au moins de l'humidité, sinon des condensations possibles, et procéder avec la température virtuelle. Cette correction n'avait toutefois pas de sens si l'on ne tenait pas compte des gradients de température. L'importance des considérations traitées plus haut ne semble pas faire de doute au double point de vue météorologique et aéronautique; et, tout imparfaits que soient les résultats indiqués, remarquons qu'ils ont été obtenus à l'aide des seules données au sol. Leur imperfection même ne fera que souligner davantage la nécessité de développer toujours plus les sondages de l'atmosphère par les méthodes aérologiques.

Il va sans dire que l'expérience de Sprung (fig. 1), où le circuit est constitué par un liquide, et qui a servi à présenter la notion de plan neutre, ne saurait être invoquée comme expliquant à satisfaction le phénomène atmosphérique; si, à la rigueur, la comparaison peut être maintenue lorsque l'obstacle montagneux reste au-dessous du plan neutre, elle cesse d'être admissible lorsque celui-ci est situé plus bas que le faite de la chaîne. Mais l'existence même du plan neutre ne semble pas douteuse, et son importance est évidente.

L'un des auteurs, J.-W. Brun, est décédé prématurément au mois d'août 1942 avant d'avoir pu assister à la publication de ce travail, et c'est grâce à la compréhension et aux conseils de M. le Dr P. Berger, du Poste fédéral d'aérologie à Payerne, que j'ai pu mener à bonne fin la rédaction de ces lignes.
