

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

**Artikel:** Note sur les sondages aérologiques et le vent au gradient en Suisse  
**Autor:** Tiercy, G. / Berger, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-740842>

#### **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:** 06.02.2026

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

failles ENE-WSW et NNE-SSW, les décrochements horizontaux et les phénomènes de décollement rendent les raccords difficiles. Les décollements des couches nous laissent penser que les répétitions de faciès observées sont en réalité dues à des phénomènes de tectonique. Nous ne pouvons donc dans l'état actuel de nos connaissances tenir compte du détail de la superposition des diverses couches rencontrées. La série doit donc être condensée et peut s'inscrire: Calcaires siliceux dolomitiques massifs ou en plaquettes (par suite d'écrasement), calcaires spathiques, calcaires grumeleux et calcaires noduleux. C

Ce bref aperçu nous montre quelle prudence il faut montrer dans l'établissement des séries stratigraphiques dans le bassin du Niari. Les épaisseurs indiquées par Babet<sup>1</sup> pour les Calcaires du Niari, total = 1000 m, nous semblent fortement exagérées. Cet auteur n'a pas tenu compte des failles amenant des répétitions de faciès, failles amplement développées dans tout le bassin du Niari. Pour nous l'ensemble des Calcaires du Niari ne doit pas dépasser une épaisseur de 250 à 350 m.

**G. Tiercy et P. Berger. — Note sur les sondages aérologiques et le vent au gradient en Suisse.**

Chacun sait ce que l'aviation actuelle exige des services météorologiques. L'une de ces exigences est la connaissance aussi exacte que possible des courants aériens et de la hauteur du plafond nuageux. Pratiquement, il est désirable que les courants aériens soient toujours connus jusqu'à 3000 m. ou 4000 m. d'altitude; ce renseignement devient urgent si les nuages inférieurs sont à faible altitude.

Etant donnés les désaccords flagrants qu'on relève entre le vent réel et les résultats fournis par les méthodes expérimentales (sondages aérologiques), ou bien entre les résultats fournis respectivement par les diverses méthodes expérimentales, il nous a paru indiqué de soumettre celles-ci à une critique serrée.

Comme, d'autre part, la Suisse possède de nombreuses

<sup>1</sup> BABET, V. *Etude géologique de la zone du chemin de fer Congo-Océan et de la région minière du Niari et du Djoué*. Paris (1929) (Larose).

stations météorologiques de montagne et qu'il est possible, grâce à leurs indications régulières combinées avec celles des stations de plaine, de calculer régulièrement la force et la direction du vent à différents niveaux, quelles que soient les conditions de visibilité et de nuages bas, il était tout naturel de comparer ce « vent théorique au gradient » au vent déterminé par les sondages par ballons-pilotes.

Les résultats que nous avons obtenus jusqu'ici sont intéressants; d'une part, ils montrent les raisons des grosses erreurs que l'on commet en utilisant les données des ballons-pilotes; d'autre part, nous arrivons à la conclusion que le vent calculé est préférable au vent déterminé par les sondages.

Dans les sondages par ballons-pilotes, on admet pratiquement et jurement que la vitesse ascensionnelle des ballons est constante. Il saute aux yeux que cette hypothèse est purement gratuite; elle est basée sur quelques résultats obtenus dans des locaux fermés, donc dans des conditions qui ne sont en rien comparables à celles réalisées dans l'air libre, où l'on doit compter avec la turbulence de l'air et les courants verticaux de l'atmosphère. D'autre part, il faudrait pouvoir tenir compte des charges supplémentaires déposées sur les enveloppes des ballons arrivés à une certaine hauteur, du comportement du caoutchouc aux différentes températures rencontrées, etc., etc. Il suffit de songer à la complexité de ce problème physique des ballons-pilotes pour penser que l'hypothèse de la constance de la vitesse ascensionnelle est insoutenable. Ainsi, le vent que l'on déduira d'un sondage pour lequel on supposera la vitesse ascensionnelle constante sera entaché d'erreurs plus ou moins considérables. Le vent théorique au gradient correspond bien mieux au vent réel.

M. Pierre Berger s'est chargé de rédiger les résultats de l'étude très détaillée et complète, à laquelle il a voué tous ses soins. Cette étude paraît in-extenso dans les *Archives des Sciences physiques et naturelles*<sup>1</sup>. Je voudrais ici insister sur le plan que nous avons adopté; en voici les grandes lignes:

a) *Résultats expérimentaux.* — L'étude et la comparaison des

<sup>1</sup> *Archives* 5 (14), n° de mai-juin 1932 et numéros suivants.

résultats dus à différentes méthodes de restitution conduisent à la certitude que la vitesse ascensionnelle des ballons-pilotes n'est pas constante; qu'en conséquence, en admettant que cette vitesse soit constante, comme on le fait habituellement, on s'expose à des déboires multiples en ce qui concerne la connaissance des vents. Notons qu'en général on n'emploie qu'un seul théodolite.

b) *Formules empiriques.* — Il est bon d'examiner le degré d'exactitude des différentes formules employées dans la pratique pour calculer la vitesse ascensionnelle  $V$  présumée d'un ballon-pilote. Toutes ces formules (Hergesell, Dines, Rouch, Hesselberg, anglaise, américaine, etc.) sont empiriques et donnent une vitesse  $V$  constante; elles sont toutes basées sur des hypothèses simplificatrices arbitraires, notamment les suivantes:

- 1<sup>o</sup> la turbulence de l'air ne joue aucun rôle;
- 2<sup>o</sup> le nombre de Reynolds  $R = \frac{V \cdot l \cdot \rho}{\eta}$  ne joue aucun rôle;
- 3<sup>o</sup> la couleur du ballon ne joue aucun rôle;
- 4<sup>o</sup> la nature du ballon ne joue aucun rôle;
- 5<sup>o</sup> il n'y a pas de courants verticaux dans l'atmosphère;
- 6<sup>o</sup> il n'y a pas de forces électriques;
- 7<sup>o</sup> la masse du ballon-pilote est constante;
- 8<sup>o</sup> la force ascensionnelle totale et la tare sont suffisantes pour permettre de calculer la vitesse ascensionnelle présumée  $V$ ;
- 9<sup>o</sup> le ballon est et reste parfaitement sphérique.

On peut donc bien prévoir, d'emblée: 1<sup>o</sup> que ces formules donneront des résultats plus ou moins concordants pour la vitesse  $V$ ; 2<sup>o</sup> qu'elles conduiront à des erreurs considérables en ce qui concerne la vitesse du vent qu'on en déduira, même dans l'hypothèse que le vent n'a pas de composante verticale.

c) *Mouvement vertical théorique des ballons-pilotes.* — Il convenait alors d'étudier d'un peu plus près l'équation générale du mouvement vertical d'un ballon dans une atmosphère en repos. Cette équation peut s'écrire comme suit:

$$M \frac{dV}{dt} = \rho g \rho - \rho' g \rho'_{H_2} - mg - F_r - m' g \pm F_e ,$$

où:

$v$	= volume = $\frac{4}{3}\pi r^3$ ;
$\rho$	= masse spécifique de l'air;
$g$	= accélération de la pesanteur;
$r$	= rayon du ballon;
$\rho'_{H_2}$	= masse spécifique de l'hydrogène comprimé;
$mg$	= poids de l'enveloppe et des accessoires;
$m'g$	= poids imprévus qui n'existent pas au départ (givre, verglas, pluie);
$F_e$	= forces électriques éventuelles;
$F_r$	= résistance aérodynamique.

L'étude serrée de ces différents termes montre toutes les difficultés du problème mécanique et physique des ballons-pilotes; par exemple, l'une des difficultés est de mettre en jeu la masse spécifique de l'air et la pression à une altitude variable; une autre provient de la résistance aérodynamique  $F_r$ , dont le calcul est fort malcommode; une autre encore concerne le calcul du volume  $v$  du ballon à un moment quelconque du sondage; ce volume  $v$  est variable, et nous avons la certitude que sa valeur exacte à chaque instant ne peut être connue, ni avant, ni après le sondage; car il est fort malaisé de faire entrer en jeu la tension variable du caoutchouc et la température intérieure du ballon; celle-ci est essentiellement variable et différente de celle du milieu ambiant, *contrairement à ce qui est admis pour les sondages aérologiques*; ce dernier point est essentiel. En bref, cette étude nous a confirmés dans notre idée que l'usage des ballons-pilotes est, en somme, très peu sûr. Théoriquement, l'équation prouve que la vitesse ascensionnelle du ballon-pilote est constamment variable à partir du sol; et l'on saisit alors tout ce que les hypothèses simplificatrices signalées plus haut ont d'arbitraire.

d) *Quelques remarques importantes sur la composante verticale des vents.* — Dans la pratique, on effectue les restitutions des sondages comme si le vent ne possédait pas de composante verticale. C'est là une hypothèse fortement simplificatrice, mais bien dangereuse. Car les vents présentent très souvent une composante verticale; les causes en sont:

1<sup>o</sup> les phénomènes orographiques;

- 2<sup>o</sup> les phénomènes thermiques;
- 3<sup>o</sup> la présence de lignes de discontinuité dans le régime des vents.

Cette composante, ascendante ou descendante, a souvent une valeur assez grande, quelquefois considérable; et le fait de la négliger contribuera à fausser le résultat de la restitution des sondages, c'est-à-dire d'abord la connaissance de la vitesse ascensionnelle du ballon, ensuite la connaissance du vent.

e) *Restitution des sondages.* — Tenant compte alors de toutes les causes pouvant produire une variation  $\Delta V$  de la vitesse ascensionnelle du ballon, on montre, par un jeu de formules simples, comment ces  $\Delta_i V$  faussent l'intensité et la direction présumées du vent cherché. On trouve en effet des expressions du type général suivant:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Projection horizontale du parcours du ballon} = f_1 \text{ (directions observées; } V; \Delta_i V), \\ \text{rotation supplémentaire du vecteur vitesse du vent dans un plan horizontal} = f_2(\Delta_i V). \\ i = 1, 2, 3, \dots, i, \dots \end{array} \right.$$

Ces premiers chapitres prouvent donc clairement que l'emploi des ballons-pilotes donne des résultats très douteux en ce qui concerne la vitesse et l'orientation des vents; pourtant, ces éléments sont fondamentaux dans de nombreux cas, notamment pour les services d'aviation.

f) *Vent théorique au gradient.* — Il convenait alors de rechercher si le vent au gradient, ou vent calculé (mais calculé au moyen des observations en montagne), ne donnait pas, du moins à Dübendorf, une meilleure image du vent réel que le vent déduit de la restitution des sondages; et cela en dépit du sol montagneux de la Suisse.

C'est en effet ce qui arrive.

On utilise actuellement les trois stations du Righi, du Pilate et du Saentis, dont les altitudes respectives sont 1787 m, 2068 m et 2500 m au-dessus de la mer; les deux premières stations sont situées au SSW de Dübendorf, le Righi à 38 km et le Pilate à 54 km de distance; le Saentis est à 56 km à l'ESE de l'aérodrome.

L'observation attentive des vents (vitesse, direction, type de vent) a montré que, pour chacun de ces trois sommets, il y a certaines directions privilégiées; on trouve là évidemment, l'influence du relief du pays; les vents observés au sol (sommets) ne correspondent pas exactement aux vents qui règnent dans l'atmosphère libre. Le problème consiste donc à appliquer le calcul du vent au gradient, en tenant compte des nombreuses observations thermométriques, barométriques et hygrométriques que l'on fait dans de multiples stations de montagne.

La difficulté réside dans la composition du terme  $\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dp}{dn}$  de l'équation du vent théorique. La masse spécifique  $\rho$  de l'air varie en effet d'une station à l'autre; on ignore la loi capricieuse de ces changements; et l'on ne sait par conséquent quelle valeur de  $\rho$  adopter pour calculer le terme en question. Il a donc fallu chercher une forme plus convenable de ce terme. On montre que l'équation du vent peut être mise sous la forme suivante:

$$\frac{g}{D} \frac{\rho_B (h_{A_1} - h_A) - \rho_{B_1} (h_B - h_A) - \rho_A (h_{A_1} - h_B)}{\rho_A - \rho_{A_1}} = 2 \omega V \sin \varphi \pm \frac{V^2}{r},$$

où:

- {  $\rho_A$  et  $\rho_B$  sont les masses spécifiques de l'air aux deux stations considérées;
- {  $\rho_{A_1}$  la masse spécifique en une station auxiliaire  $A_1$  située au-dessus de  $A$ , dans son voisinage;
- {  $h_A$ ,  $h_B$ ,  $h_{A_1}$  les altitudes des trois stations;
- {  $D$  l'éloignement horizontal de  $A$  à  $B$ .

On en déduit alors une connaissance très satisfaisante du vent dans l'atmosphère libre; et les résultats que l'on obtient ainsi pour l'aérodrome de Dübendorf sont très sensiblement meilleurs que ceux dus à l'emploi des ballons-pilotes.

*Conclusion.* — Et nous arrivons à cette conclusion un peu étonnante à première vue: qu'un résultat établi par voie théorique se trouve être meilleur que celui obtenu par l'observation directe. Cela provient uniquement de ce que le mouvement vertical des ballons-pilotes est fort mal connu, et qu'on met

en jeu, dans la restitution des sondages, une série d'hypothèses simplificatrices purement gratuites dont on ne tient aucun compte dans le résultat. Autrement dit, l'observation directe est ici difficilement utilisable d'une manière correcte; et cependant on l'utilise, en supposant qu'on le fait correctement. Dans ces conditions, il n'y a rien de bien étonnant à ce que le vent calculé théoriquement (mais basé sur de bonnes observations en montagne) corresponde mieux au vent réel.

**R. Wavre.** — *Sur le prolongement analytique des potentiels de surface.*

Soient  $S$  une surface sphérique homogène,  $a$  son rayon,  $M$  sa masse totale et  $r$  la distance d'un point  $P$  au centre de la sphère. Soient, encore,  $S'$  une partie de  $S$ ,  $S''$  la partie restante, puis  $U'$  et  $U''$  les potentiels newtoniens engendrés par  $S'$  et par  $S''$  respectivement. L'on a, c'est bien connu

$$U' + U'' = \frac{M}{a} \quad U' + U'' = \frac{M}{r}$$

suivant que le point potentiel  $P$  est à l'intérieur ou à l'extérieur de la sphère. Envisageons le potentiel  $U'$ , il représente dans la sphère un élément de fonction analytique qui peut être prolongée au travers de  $S'$ . L'on peut écrire, en effet,

$$U' = \frac{M}{a} - U''$$

et la fonction  $U''$  ne cesse d'être harmonique, donc analytique, le long d'un trajet  $P_0 \rightarrow P_1$ , évitant  $S''$ . Plaçons-nous en  $P_1$ , hors de la sphère. La fonction  $U'$  prolongée y a la valeur donnée par le second membre de l'équation précédente.

Faisons maintenant tendre  $S'$  vers zéro. La détermination principale, nous entendons le potentiel  $U'$  lui-même tend vers zéro, comme d'ailleurs l'attraction de  $S'$  sur tout corps à distance finie. Mais le prolongement analytique de  $U'$  tend vers

$$\frac{M}{a} - \frac{M}{r} \quad (1)$$

en effet,  $U''$  tend vers  $\frac{M}{r}$  puisque  $S''$  tend vers la sphère totale  $S$ . L'expression (1) n'est autre que la fonction période du potentiel