

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Herausgeber:** Société Vaudoise des Sciences Naturelles  
**Band:** 12 (1873-1874)  
**Heft:** 69

**Artikel:** Recherches sur la réflexion de la chaleur solaire à la surface du Lac Léman  
**Autor:** Dufour, L.  
**Kapitel:** 13-16: Stations : mesure de la hauteur du soleil  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-287479>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

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

de température et de pression où ont été faites les expériences à l'air libre.

**Stations. — Mesure de la hauteur du soleil.**

**13.** La rive suisse du lac Léman offre plusieurs points très favorablement situés pour observer la chaleur réfléchie par la surface de l'eau et pour recevoir cette chaleur durant quelques heures successives, c'est-à-dire avec des hauteurs et des azimuts variables du soleil.

J'ai observé dans six stations placées à des distances variables du lac et à des altitudes assez différentes. Le choix de ces stations a d'ailleurs été aussi influencé par la circonstance qu'elles étaient accessibles sans une trop grande perte de temps et que les instruments pouvaient y être convenablement installés.

*Ouchy.* Les observations ont été faites sur le quai faisant face au sud-ouest, près de l'extrémité ouest, la plus voisine de l'usine à gaz. Les piquets portant les boules étaient plantés dans un sol sablonneux et séparés de la surface de l'eau par quelques gros cailloux destinés à briser le choc des vagues. Les boules étaient à 2<sup>m</sup>,50 au-dessus du niveau du lac et à une distance horizontale de 4<sup>m</sup>,40 à 5<sup>m</sup>,00 du bord de l'eau.

*Tour Haldimand.* Dans cette station, voisine d'Ouchy, à l'orient, les appareils ont été aussi rapprochés que possible du lac. Les piquets étaient plantés dans le rivage sablonneux, à l'ouest de la tour, près de l'embouchure du petit torrent la Vuachère. Hauteur des boules au-dessus du niveau de l'eau : 1<sup>m</sup>,30 ; distance horizontale jusqu'au bord du lac : 0<sup>m</sup>,70 à 0<sup>m</sup>,90. A cause de cette

grande proximité, les piquets porteurs des écrans ont dû être plantés dans le lac même.

*La Vuachère.* Cette station est la plus éloignée du lac en distance horizontale et les rayons réfléchis ne pouvaient l'atteindre que lorsque le soleil était près de se coucher. Les observations ont été faites en plein hiver; c'est le seul moment de l'année où les rayons solaires, vers la fin de la journée, donnent une réflexion dirigée vers la Vuachère. Les instruments ont été installés dans une vigne au-dessus du chemin qui se dirige, à l'orient de Lausanne, du côté de Belmont. Le nivellement, relativement à un point voisin dont la cote est connue, m'a permis de connaître l'altitude au-dessus du lac, laquelle est 140<sup>m</sup>. Quant à la distance horizontale jusqu'au bord de l'eau, dans la direction moyenne des divers azimuts du soleil, alors que les rayons réfléchis pouvaient atteindre les boules, elle est approximativement de 1600<sup>m</sup>.

*Dézaley.* C'est la station où a été fait le plus grand nombre de séries, dans des conditions atmosphériques parfois excellentes. Les instruments étaient installés dans un petit jardin, au nord-ouest de la maison du vigneron, jardin entièrement environné de vignes. L'altitude a été déterminée directement par un nivellement et a été trouvée égale à 61<sup>m</sup>,95. Cette valeur pouvait éprouver d'ailleurs une petite variation dans les divers jours d'observations à cause d'un changement dans le niveau du lac. (7)

(7) Pour les stations d'Ouchy et de la tour Haldimand, la hauteur des boules au-dessus de la surface de l'eau a été mesurée le jour même des observations; elle est donc exacte. — La hauteur des autres stations étant beaucoup plus considérable, cette mesure n'a pas pu être faite chaque fois. On sait que le niveau du lac n'est pas constant, mais la variation est faible et

De la station même, on ne voit pas le rivage du lac. Le rayon visuel aboutissant à la surface liquide, dans les points les plus voisins possibles, est tangent à des murs de soutènement de vignes. Ce rayon visuel fait un angle de 24 à 26° avec l'horizon dans les divers azimuts où les rayons solaires pouvaient se réfléchir. Cela correspond à une distance horizontale de 120 à 135 mètres.

*Rivaz.* Les observations ont été faites dans une vigne située au bord du chemin qui conduit de Rivaz au signal de Chexbres. En ce point, on est au-dessus de parois rocheuses ou de vignes qui descendent en forte pente jusqu'au lac.

Le nivellement, jusqu'à la gare de Rivaz, a donné 79<sup>m</sup>,5 au-dessus des rails, lesquels étaient à environ 5 mètres au-dessus du niveau de l'eau à l'époque où les observations ont été faites. L'altitude de la station, relativement au lac, est ainsi d'environ 84<sup>m</sup>,5. La distance horizontale jusqu'au bord du lac, dans l'azimut où les rayons réfléchis du soleil commençaient à pouvoir atteindre les instruments, est d'environ 107 mètres. Le rayon visuel allant de la station au bord du lac, dans cet azimut-là, fait avec l'horizon un angle de 38°.

*Signal de Chexbres.* C'est la station la plus élevée. Les instruments étaient installés dans un pré situé entre le signal et l'hôtel. De ce point, le coup d'œil est ravissant; quelques broussailles voisines dérobent la vue des vignes qui s'étagent jusqu'au lac et le regard plonge, sans aper-

n'est qu'une petite fraction des altitudes indiquées pour Rivaz, le Dézaley, Chexbres et la Vuachère. Il n'y a évidemment pas lieu de tenir compte ici de cette petite différence.

41 SÉP. RÉFLEXION DE LA CHALEUR SOLAIRE. BULL. 41  
cevoir d'intermédiaires, jusqu'à la surface bleu foncé du  
grand bassin d'eau.

J'ai déterminé l'altitude à l'aide du baromètre. En basant le calcul sur la moyenne de trois observations faites simultanément près des instruments et à Lausanne (à une altitude connue) on trouve 263 mètres pour hauteur de la station au-dessus du lac. — A cause des arbres et des broussailles qui garnissent les parties supérieures du versant de la colline, les instruments ne pouvaient pas voir le bord même du lac. Les rayons réfléchis du soleil ne pouvaient commencer à les atteindre que sous un angle d'environ  $34^{\circ}$ . La distance horizontale, de la station au point où la réflexion pouvait commencer, est d'environ 400 mètres. <sup>(8)</sup>

**14.** La quantité de chaleur que réfléchit une surface d'eau dépend évidemment de l'angle sous lequel tombent les rayons solaires. Il est donc intéressant de placer, en

<sup>(8)</sup> Les séries d'observations faites dans les stations qui viennent d'être indiquées ne sont pas aussi nombreuses que je l'aurais voulu. Leur nombre s'est trouvé limité par les conditions mêmes dans lesquelles il était nécessaire d'opérer. — Les séries *utiles* et dont les résultats sont inscrits dans les tableaux qui suivent ont toujours été obtenues par un temps favorable, c'est à dire un ciel partiellement ou complètement pur, une atmosphère convenablement calme et un lac calme ou faiblement agité. Mais ces jours de travail utile ne sont naturellement pas les seuls où des observations ont été tentées. Plus d'une fois, l'apparence du temps était assez bonne pour me décider à partir; mais ce n'était qu'une apparence trompeuse et l'arrivée de quelques nuages ou d'un courant d'air un peu fort venait rendre impossible les observations projetées. En outre, j'ai fait dans chaque station une série d'essais préliminaires destinés à me renseigner sur l'installation la plus favorable des appareils et sur les déplacements que devraient subir les écrans pour suivre convenablement la marche du soleil.

regard des quantités de chaleur réfléchiée, l'incidence des rayons. Cette incidence, variable avec l'heure, n'est autre chose que la hauteur angulaire du soleil au moment où se fait l'observation.

J'aurais pu déterminer directement, lors de chaque observation, la hauteur du soleil. Mais cette opération, sans être compliquée, aurait exigé un certain temps et il m'a paru préférable de n'être distrait par rien et d'avoir exclusivement à suivre la marche des thermomètres. J'ai donc mieux aimé déduire, après coup, la hauteur du soleil de l'heure à laquelle l'observation était faite. — L'heure de chaque observation était notée sur une bonne montre ordinaire, qui avait été réglée le jour même par l'observation du passage du soleil au méridien. Ce passage du soleil était constaté à l'aide d'un petit appareil méridien, installé chez moi, qui permettait de noter le moment du midi vrai avec une incertitude sûrement inférieure à 20 secondes. Comme contrôle, j'ai employé à diverses reprises un sextant pour déterminer l'heure d'après la hauteur du soleil ou d'une étoile. J'ai eu ainsi la certitude que la montre employée marchait avec une régularité très-suffisante et l'heure de chaque observation pouvait être connue sans que l'erreur atteignît une demi-minute.

Quoique les diverses stations fussent peu éloignées de Lausanne, j'ai toujours noté le *temps moyen* de chacune d'elles en tenant compte de leur longitude. Rivaz, la station la plus éloignée, est à 8' de longitude est de Lausanne.

La hauteur du soleil a été déduite de l'heure de l'observation à l'aide de la formule connue. Soient :  $a$  la distance zénithale du soleil;  $b$  sa distance au pôle;  $c$  la



distance du pôle au zénith ;  $A$  l'angle au pôle du triangle sphérique, on a :

$$\cos. a = \cos. b \cos. c + \sin. b \sin. c \cos. A$$

$a$  est complément de la hauteur de l'astre  $h$  ;  $b$  de sa déclinaison  $d$  et  $c$  de la latitude du lieu  $l$ . On a donc :

$$(6) \quad \sin. h = \sin. d \sin. l + \cos. d \cos. l \cos. A$$

C'est la formule qu'il s'agit d'appliquer aux observations. Afin de rendre le calcul, qui devait se répéter un grand nombre de fois, plus expéditif, l'équation (6) a été mise sous la forme :

$$(7) \quad \sin. h = \cos. d \cos. l (\text{tang. } d \text{ tang. } l + \cos. A)$$

J'ai dressé une table du produit  $\text{tang. } d \text{ tang. } l$  pour toutes les valeurs de  $\text{tang. } d$  qui correspondent aux jours d'observations. Une autre table renfermait les diverses valeurs de la somme  $\log. \cos. d + \log. \cos. l$  pour les diverses valeurs de  $d$  également. <sup>(9)</sup>

Ces deux tables étant préparées, les calculs s'effectuaient rapidement.

L'angle  $A$  résultait de l'heure de l'observation exprimée en temps vrai.  $\cos. A$  (ligne naturelle) était ajouté à  $\text{tang. } d \text{ tang. } l$  tiré de la première table. On prenait le logarithme de la somme et on l'ajoutait à  $\log. \cos. d + \log. \cos. l$  pris dans la deuxième table. On avait ainsi  $\log. \sin. h$  et par suite  $h$ .

**15.** On se rend facilement compte de l'erreur due à ce que les diverses stations ne sont pas exactement à la

<sup>(9)</sup> La déclinaison introduite dans la formule est celle du jour de l'observation à quatre heures après midi.

latitude de  $46^{\circ} 30'$  pour laquelle les tables ont été construites. — En différentiant (7), on a :

$$(8) \quad dh = \frac{\sin. d \cos. l - \cos. d \sin. l \cos. A}{\cos. h} dl$$

On voit que la différence de hauteur qui provient d'une petite variation  $dl$  en latitude dépend de la hauteur absolue que l'on considère, de la déclinaison et de l'angle au pôle, par conséquent de l'heure. La valeur de  $h$  qui s'obtient en employant les tables est donc entachée d'une erreur qui n'est pas toujours la même lorsque au lieu d'être à  $46^{\circ} 30'$ , on est à une latitude différente.

Les diverses stations déjà mentionnées, Ouchy, Dézaley, etc., sont à des latitudes si voisines, en plus ou en moins, de  $46^{\circ} 30'$ , que la différence est, pour toutes, inférieure à  $0^{\circ} 02'$ . Cela étant, on s'assure sans peine, à l'aide de la formule (8), que cette petite variation correspond à une variation sur la hauteur du soleil qui est toujours inférieure à  $0^{\circ} 02'$  également. L'approximation est donc pleinement suffisante.

Pour se rendre compte de l'influence d'une erreur dans l'appréciation du temps de l'observation, il faut différentier (7) en considérant  $A$  comme variable. On a :

$$(9) \quad dh = - \frac{\cos. d \cos. l \sin A}{\cos. h} dA$$

En admettant que l'on commette, par exemple, une erreur d'une minute sur le temps ou de  $0^{\circ} 15'$  de l'angle au pôle, on trouve facilement l'erreur correspondante de  $h$ . La formule (9) montre que, pour une même varia-



tion de 1<sup>m</sup> sur le temps, la variation de  $h$  dépend de la déclinaison et de la hauteur absolue au moment que l'on considère. Voici ce que donne le calcul de (9) pour quatre cas extrêmes : Soit

$$d = DB 20^0 \dots A = 15^0 ; \text{ on a } dh = -0,34 dA = -0^0 05'$$

$$d = DB 20^0 \dots A = 75^0 ; \quad \gg \quad dh = -0,69 dA = -0^0 10'$$

$$d = DA 20^0 \dots A = 15^0 ; \quad \gg \quad dh = -0,18 dA = -0^0 03'$$

$$d = DA 20^0 \dots A = 60^0 ; \quad \gg \quad dh = -0,56 dA = -0^0 08'$$

On voit ainsi que, dans le cas le plus défavorable (et qui ne s'est jamais rencontré dans les présentes recherches), une erreur de 1<sup>m</sup> dans l'appréciation du temps correspondrait à 0<sup>0</sup>10' dans la hauteur de l'astre.

Afin d'avoir la vraie hauteur du soleil à un moment donné, il faut encore corriger les valeurs trouvées par le calcul qui vient d'être indiqué de la réfraction atmosphérique. Cette réfraction est donnée par des tables connues et la correction a été faite pour obtenir les hauteurs vraies qui se trouvent (colonne H) dans les tableaux V à XXIII.

**16.** Dans le cas où la chaleur se réfléchirait sur la surface de l'eau comme sur un miroir parfaitement plan, le point de réflexion dépendrait évidemment de la hauteur du soleil au moment que l'on considère et de l'altitude de la station au-dessus du niveau de l'eau. En réalité, le lac n'étant jamais une surface parfaitement plane, les rayons réfléchis qui aboutissaient aux thermomètres provenaient d'une bande plus ou moins longue et plus ou moins large dont la ligne moyenne était l'intersection, avec la surface de l'eau, du plan vertical dans lequel se trouvait le soleil.

Mais la région qui réfléchissait, le plus souvent au moins, la plus forte proportion de la chaleur incidente, c'est celle

où se serait vue une image nette de l'astre si le lac eût été un miroir. Cette région de réflexion maximum était située d'une manière telle que les lignes qui y aboutissaient, du soleil et de la station, faisaient à chaque instant, avec la surface de l'eau, des angles égaux entre eux et égaux à la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon.

Si, à un moment donné,  $H$  est la hauteur du soleil,  $Z$  l'altitude de la station et  $D$  la distance qui sépare la station du point de réflexion sur le lac, on a évidemment :

$$(10) \quad D = \frac{Z}{\sin. H}$$

Cette distance  $D$  est celle que les rayons réfléchis ont à parcourir pour aboutir aux appareils (dans le cas d'une réflexion régulière) et il y a un grand intérêt à voir quelle peut être son influence dans le phénomène dont il est ici question.

### Observations.

**17.** Les développements qui précèdent se rapportent tous à la méthode employée dans les présentes recherches pour mesurer la chaleur réfléchie, et pour déterminer les divers éléments qui doivent être pris en considération. Ce qui va suivre comprend le détail des observations et la discussion des résultats obtenus.

On trouvera le détail des observations dans les tableaux V à XXIII.

La première colonne indique l'heure, en temps moyen de la station. — La colonne  $H$  donne la hauteur du soleil obtenue par le calcul qui a été indiqué plus haut. — La