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: 31-35: Comparaisons avec le pyrhéliomètre direct : évaluations en chaleur absolue

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-287479

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: 08.07.2025

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

Comparaisons avec le pyrhéliomètre direct. — Evaluations en chaleur absolue.

31. Assez longtemps après l'époque où ont été faites les observations dont il a été question jusqu'ici, j'ai eu à ma disposition un pyrhéliomètre. Il m'a paru intéressant de comparer les indications de cet instrument avec celles des boules qui m'avaient servi et de transformer en quantités absolues de chaleur les données toutes relatives fournies par ces boules.

Le pyrhéliomètre employé est absolument semblable à celui qu'a décrit et utilisé M. Pouillet sous le nom de *pyrhéliomètre direct.* — Le thermomètre est divisé en cinquièmes de degrés; le bouchon que traverse sa tige est de caoutchouc afin d'empêcher, autant que possible, le passage de la chaleur de l'eau du pyrhéliomètre aux autres parties de l'instrument. La surface exposée au soleil est celle d'un disque de dix centimètres de diamètre, d'argent mince, formant la base du cylindre aplati contenant l'eau. Cette surface a été soigneusement recouverte d'une couche de noir de fumée velouté ([17]).

On sait en quoi consiste la méthode indiquée par Pouillet et généralement employée depuis lui pour faire usage de cet instrument. On observe l'effet de l'air ambiant avant puis après l'exposition au soleil, et on en déduit la correc-

([17]) Dans tout ce chapitre, je me base sur les indications du pyrhéliomètre pour calculer la quantité de chaleur fournie par le soleil conformément aux travaux de Pouillet et d'autres; mais je ne méconnais pas la justesse des critiques qui peuvent être adressées à cet instrument. Le noir de fumée diffusant un peu la chaleur rayonnante, l'appareil doit donner des valeurs trop faibles.

tion qui doit être appliquée aux indications du thermomètre. Il est à remarquer, toutefois, que le thermomètre n'atteint pas son maximum au moment où l'instrument est de nouveau placé derrière l'écran, après les cinq minutes d'action solaire. La température continue à s'élever encore pendant une minute environ, puis elle demeure sensiblement stationnaire quelques instants et recommence à baisser plus ou moins longtemps après que l'action solaire a été supprimée. Ainsi, quand on lit la température à l'expiration de la cinquième minute, on n'observe pas tout le réchauffement que le soleil est capable de produire dans l'instrument.

Après quelques tâtonnements préliminaires, j'ai opéré avec la méthode et dans les circonstances suivantes :

Le pyrhéliomètre était placé dans une chambre où le soleil pénétrait par une fenêtre ouverte. L'instrument était, longtemps avant l'observation, installé à l'ombre, près de la limite du flux solaire, et continuellement tourné dans ses colliers afin de mélanger les couches liquides. Une loupe, convenablement tenue par un support lié au pyrhéliomètre, permettait de lire avec plus de précision les indications du thermomètre. — Dans ces conditions, l'instrument arrivait à une température qui ne variait plus que très peu dans le courant de plusieurs minutes ; c'est quand il était arrivé à cette température à peu près constante qu'on l'exposait cinq minutes à l'action du soleil, en continuant à observer le thermomètre de minute en minute ou de deux en deux minutes. On obtenait ainsi des excès de température, x_1, x_2, etc. A la cinquième minute, l'instrument était ramené à l'ombre ; sa température continuait à s'élever et le maximum était atteint à six minutes plus ou moins quelques secondes. Lorsque l'appareil

avait sûrement fourni son maximum, on le replaçait quelques moments au soleil, de manière à le rechauffer d'environ un degré, puis on le retirait à l'ombre et l'on observait son refroidissement.

La température ambiante était suivie à l'aide d'un second thermomètre plongé dans la boule **B**, laquelle était placée près du pyrhéliomètre et à l'abri du soleil. La variation de cette température, pendant le refroidissement du pyrhéliomètre, a toujours été faible; cependant, il en a été tenu compte pour estimer, à chaque instant, l'*excès* du pyrhéliomètre sur l'atmosphère ambiante.

Les diverses températures du pyrhéliomètre, notées de quatre en quatre minutes, étaient portées comme ordonnées et servaient à obtenir la courbe du refroidissement. Cette courbe, un peu irrégulière, était rectifiée au juger; après cette régularisation, elle servait à construire une petite table donnant le refroidissement de l'instrument durant une minute, pour divers excès de température. A l'aide de cette table, on corrigeait l'observation faite au soleil, en faisant porter la correction sur les divers excès x_1, x_2, ... pris à part [18].

La méthode que je viens de décrire n'est assurément pas irréprochable et laisse place encore à diverses incertitudes; cependant, ces incertitudes sont petites et inférieures, je le crois, à celles qui subsistent dans le procédé ordinairement employé. L'inconvénient de cette méthode est d'exiger plus de temps que celle qui est indiquée par

[18] Le thermomètre du pyrhéliomètre et celui de la boule **B** avaient été comparés dans des expériences préliminaires, afin de déterminer leur correction relative. Cette correction a été faite dans les chiffres qui sont cités plus bas.

M. Pouillet; elle ne serait guère applicable si l'on voulait faire plusieurs observations dans le courant d'une matinée ou d'une après-midi et si l'on opérait en plein air.

En même temps que le pyrhéliomètre, j'observais la boule C pourvue de son thermomètre et exposée au soleil. Cette boule présentait un excès t^0 au-dessus de l'air ambiant sous l'influence du flux solaire qui faisait monter, en cinq minutes, de x^0 la température du pyrhéliomètre.

Les observations simultanées du pyrhéliomètre et de la boule C n'ont pas été aussi nombreuses que je l'avais espéré. Après cinq comparaisons pareilles, faites en septembre 1872, il est malheureusement survenu un petit accident qui a modifié l'état de la surface absorbante de l'instrument.

Tableau *a*.

13 *septembre* 1872, *entre* 5 *et* 6 *heures*.

Temps.	Température amb.	Excès de C.	Pyrhéliomètre.
5^h03^m	24°,72	9°,98	24°,38
09	24,75	9,25	24,48
12	24,70	9,20	24,52
17	24,68	8,80	24,58
20	24,62	8,72	24,62
21	24,65	8,53	24,60
22	24,65	8,56	24,60
24	24,62	8,32	25,02
26	24,60	8,10	25,78
27	24,60	8,02	26,00
28	24,64	7,87	26,14
29	24,60	7,80	26,06
30	24,62	7,72	26,04

32. Afin de ne pas prolonger en citant trop de chiffres, je me contenterai de donner avec détail une des comparaisons faites; cela suffira pour que l'on voie en quoi consistait la méthode. (Tableau *a*, page précéd.)

Le pyrhéliomètre a été exposé au soleil entre 22 et 27^{m}. Il a continué à monter, a atteint 26°,14 à 28 minutes moins quelques secondes et s'est conservé quelques instants à cette température, puis a baissé de nouveau.

L'observation du refroidissement, faite comme il a été dit plus haut, a fourni la marche suivante :

Temps.	Excès de température du pyrhéliomètre.	Différence.
0^{m}	2°,30	0°,15
4	2,15	0,15
8	2,00	0,14
12	1,86	0,12
16	1,74	0,12
20	1,62	0,11
24	1,51	0,11
28	1,40	0,10
32	1,30	0,08
36	1,22	0,08
40	1,14	0,07
44	1,07	

On en déduit l'abaissement de température, pendant 2 minutes, pour divers excès au-dessus de la température ambiante. Les vitesses du refroidissement sont à peu près proportionnelles aux excès de température et l'on a admis cette proportionnalité pour calculer le refroidissement dû à l'air de 22 à 24^{m} et de 24 à 26^{m}. Vu la faible valeur

de la correction, ce mode de procéder est suffisamment exact.

De 22 à 24^m, le pyrhéliomètre a monté de $0^0,42$; excès moyen, $0^0,21$. La correction, pour ces deux minutes, est 0,007. — De 24 à 26^m, l'excès moyen est $0^0,80$; la correction, $0^0,028$. — De 26 à 28^m, l'excès moyen est $1^0,36$; la correction, $0^0,047$. — La correction totale est donc $0^0,08$, laquelle étant ajoutée à $1^0,54$, accroissement de température observé, donne $1^0,62$ comme résultat de l'action solaire durant cinq minutes.

Les excès de température fournis par la boule exposée au soleil n'ont pas été constants durant les cinq minutes d'observation. Le soleil s'abaissait vers l'horizon et son intensité rayonnante diminuait assez rapidement. Il y a forcément un peu d'incertitude sur le chiffre qui doit être choisi comme exprimant l'excès moyen correspondant à l'action solaire entre 22 et 27 minutes. Comme les indications du thermomètre sont un peu en retard et se rapportent à l'état du flux solaire quelques instants avant le moment où l'on observe, j'ai pris la moyenne entre les quatre lectures faites à 24, 26, 27 et 28 minutes; cette moyenne est $8^0,08$. — Il est hors de doute que des comparaisons comme celles dont il est ici question seront toujours plus sûres lorsque l'action solaire sera demeurée plus constante durant les cinq minutes que dure la mesure au pyrhéliomètre, et que le thermomètre de la boule ne variera que peu. La série que je donne comme exemple était des moins favorables sous ce rapport; celles des 3, 9 et 12 septembre ont offert des conditions meilleures. Le 28 septembre, l'atmosphère n'était pas parfaitement pure; un très léger voile blanchâtre, uniforme, recouvrait le ciel.

33. Voici maintenant (en laissant de côté, pour les autres séries, les détails des observations) les résultats obtenus :

Date. Septembre.	Heure moyenne.	Excès de la boule C.	Réchauffement du pyrhél.	Correction.	Réchauffement. total du pyrhél.
3	$4^h,57^m$	$10^0,60$	$2^0,14$	$+0^0,10$	$2^0,24$
9	5, 08	11,45	2,34	+0,11	2,45
12	9, 46	16,94	3,67	+0,19	3,86
13	5, 25	8,08	1,54	+0,08	1,62
28	4, 24	6,09	1,14	+0,06	1,20

Avec ces données, il est possible de calculer la quantité totale de chaleur fournie par le soleil durant une minute sur un centimètre carré.

Le vase du pyrhéliomètre, réduit en eau, équivaut à $13^g,2$. Ce vase contenait 102^g de liquide. Un réchauffement de x^0 représente 115,2 x unités de chaleur (le millième de calorie admis comme unité). La surface insolée de l'appareil étant 78,54 centimètres carrés, la quantité $P = \frac{115,2\,x}{5 \times 78,54} = 0,2933\,x$ représentera le nombre d'unités de chaleur rayonnées par le soleil durant une minute sur un centimètre carré. On trouvera ces quantités P dans le tableau ci-dessous.

Le Tabl. II (§ **9**) fournit des nombres qui représentent les quantités de chaleur reçue par la boule pour divers excès de température. En recherchant dans ce Tabl. les valeurs qui se rapportent aux excès observés dans les cinq séries dont il est ici question, on doit trouver des nombres proportionnels aux quantités P. Ces nombres sont

inscrits dans la colonne E ci-dessous. Enfin, il est évident que la division de P par E, pour chaque série, doit représenter la quantité absolue de chaleur (c'est-à-dire la quantité de chaleur fournie par le soleil en 1^m sur 1^{cc}) qui correspond à *l'unité conventionnelle* admise dans toute la première partie du présent mémoire, soit la quantité de chaleur capable de donner à la boule un excès de 1^0 sur l'air ambiant; — avec la réserve toutefois que les rapports $\frac{P}{E}$ s'appliqueront aux circonstances dans lesquelles ont été faites les cinq séries actuelles, c'est-à-dire alors que la boule était placée dans un air presque tout à fait calme et dans un local fermé, à l'exception de l'ouverture par laquelle entrait le flux solaire. Il a été longuement établi plus haut (**9**) que l'unité du Tabl. II représente des quantités absolues de chaleur un peu différentes suivant les conditions dans lesquelles les boules sont exposées.

Septembre.	P	E	$\frac{P}{E}$
3	0,657	14,58	0,0451
9	0,713	15,85	0,0450
12	1,132	24,28	0,0466
13	0,475	10,80	0,0440
28	0,351	7,88	0,0445
		Moyenne :	0,0450

Le rapport $\frac{P}{E}$ devrait se trouver le même pour toutes les séries. On voit qu'il n'en est pas exactement ainsi. Cependant, les différences demeurent comprises entre des limites assez restreintes; les valeurs isolées offrent, avec la moyenne, un écart moyen de $\pm$ 0,0006, soit environ 0,013 de la quantité elle-même. Ce résultat peut être con-

sidéré comme une vérification intéressante des valeurs relatives (Tableau II) qui ont servi de base à tous les calculs des quantités de chaleur dans la première partie du mémoire.

J'aurais désiré étendre cette vérification aux nombres les plus faibles du Tabl. II, à ceux qui correspondent à de petits excès de la température de la boule. Pour cela, il aurait fallu pouvoir soumettre la boule et le pyrhéliomètre à un flux de chaleur qui demeurât assez constant pendant au moins cinq minutes, qui agît avec la même intensité sur les deux appareils et qui fût suffisamment faible. Je n'ai pas pu jusqu'ici réunir ces trois conditions d'une façon assez satisfaisante.

34. La boule C pèse 90 grammes. Réduite en eau, elle représente $8^g,46$, et par conséquent toute variation de température t^0 qu'elle subit, durant une minute, correspond à une quantité de chaleur égale à $8,46\ t$. Soit V la vitesse du refroidissement dans les expériences mentionnées plus haut, les quantités de chaleur que la boule recevait ou perdait pendant une minute étaient donc équivalentes à 8,46 V. — La quantité V est donnée dans le Tabl. II, colonne M (§ **9**) pour les conditions dans lesquelles ont eu lieu les séries I et II; ces conditions ne différaient pas beaucoup de celles qui se trouvaient réalisées lors des comparaisons avec le pyrhéliomètre, et il est intéressant de calculer, avec ces valeurs de V, la quantité absolue de chaleur que la boule recevait du soleil en une minute, puis de comparer le résultat de ce calcul avec les quantités P reçues et absorbées par le pyrhéliomètre. On trouvera les éléments de cette comparaison dans le tableau ci-dessous.

Septembre	V. du refroidissement d'après Tabl. II.	Chaleur reçue par C. 8,46 V.	Rapport entre la chal. reçue par la boule et la chal. reçue par le pyrhél.
3	2°,34	19,8	0,384
9	2,54	21,5	0,381
12	3,88	32,8	0,369
13	1,73	14,6	0,391
28	1,27	10,7	0,387
		Moyenne :	0,382

On voit que la boule absorbait à peu près les quatre dixièmes seulement, avec de faibles écarts d'une série à l'autre, de la chaleur que recevait le pyrhéliomètre. D'où provient cette différence? La boule étant sphérique et ayant un diamètre de dix centimètres, sa demi-surface convexe absorbante était atteinte par un flux de même section que celui qui atteignait le pyrhéliomètre ; mais ce flux n'était pas absorbé en totalité. Le noir de fumée verni qui recouvre la boule a un coefficient d'absorbtion inférieur à celui du noir de fumée velouté ; en outre, quoique le vernis fût mat, il y avait une fraction assez notable de chaleur réfléchie par la demi-sphère sur laquelle l'incidence n'était normale qu'en une région très limitée. Ces deux causes expliquent sans doute suffisamment ce rapport de 4 à 10 entre la chaleur recueillie par la boule et celle qu'absorbait le pyrhéliomètre. (La petite quantité de chaleur employée à chauffer l'air de la boule et la substance du thermomètre a été négligée dans ce calcul.)

35. Si l'on suppose que les vitesses absolues du re-

froidissement, lors des expériences faites près du lac, étaient les mêmes que lors des comparaisons avec le pyrhéliomètre, on peut rechercher, avec les données qui viennent d'être obtenues, la quantité absolue de chaleur réfléchie par le lac dans les quatre séries qui ont été discutées au § **26**.

On a vu que le 12 Sept., à Ouchy, l'addition des nombres représentant (en unités conventionnelles) les quantités de chaleur réfléchie par le lac, dans douze observations successives, a donné 15,34. Chacune de ces observations correspond à l'état moyen durant un intervalle de quinze minutes. La somme totale de chaleur réfléchie est évidemment la même que si chacune des douze observations eut fourni $\frac{15,34}{12}$, soit 1,28. Or, on a vu plus haut que l'unité conventionnelle correspond à 0,045 millièmes de calorie pendant chaque minute sur chaque centimètre carré. On aura donc la somme de toute la chaleur réfléchie par le lac à Ouchy, le 12 Sept., en faisant le produit :

$$1,28 \times 0,0450 \times 15 \times 12 = 10,36$$

Un calcul semblable peut s'appliquer aux trois autres séries mentionnées au § **26**. On obtient comme résultat, exprimé en *calories* sur *un mètre carré*, les nombres suivants :

Ouchy, 12 Septembre	104	calories.
Tour Haldimand, 5 octobre . .	84	»
Dézaley, 28 septembre	112	»
Dézaley, 18 octobre	134	»

Ce sont donc les quantités totales de chaleur réfléchie par le lac, sur chaque mètre carré d'une surface normale au rayon, depuis le moment où la réflexion a commencé à se faire sentir jusque tout près du coucher du soleil.

Je m'empresse d'ajouter que ces nombres sont entachés de quelque incertitude pour deux motifs principaux :

1. La méthode par laquelle on a obtenu le premier facteur qui entre dans leur formation est seulement approximative (§ **26**).

2. Le second facteur suppose certaines conditions ambiantes, celles qui étaient réalisées lors des comparaisons avec le pyrhéliomètre. Or, dans les observations faites près du lac, l'air était moins calme et par conséquent les causes de refroidissement devaient être plus actives. Il en résulte que ce deuxième facteur devrait être un peu plus considérable pour correspondre aux circonstances dans lesquelles ont été faites les mesures de réflexion de la chaleur par le lac.

Il est d'ailleurs convenable de rappeler que les observations ont forcément cessé quelques minutes avant le coucher du soleil. Pour cette raison donc, le résultat du calcul qui vient d'être exposé doit être un peu au-dessous de la réalité.

Le degré d'approximation auquel peuvent prétendre les nombres des calories indiqués plus haut échappe naturellement à une appréciation précise. Cependant, en faisant une large part à l'incertitude qui peut résulter de la méthode indiquée au § **26** ; en tenant compte largement aussi des différences dans la vitesse absolue du refroi-

dissement des boules lorsque l'air était calme ou un peu agité autour d'elles, je pense que l'incertitude dont sont affectés ces nombres de calories *n'atteint pas* un quart de leur valeur et qu'ils sont très-probablement inférieurs plutôt que supérieurs à la quantité réelle de chaleur réfléchie par le lac. — Je rappelle en outre les remarques contenues dans les dernières phrases du § **26**.