Discussion des observations : résultats

Objekttyp: **Chapter**

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

Band (Jahr): **12 (1873-1874)**

Heft 69

PDF erstellt am: **30.04.2024**

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

B et C. La surface du lac était irrégulière et la réflexion donnait une traînée éclatante.

LA VUACHÈRE, 8 *décembre.* — Ciel pur, mais un peu vaporeux. Air convenablement calme. Lac faiblement agité; la réflexion donnait une traînée brillante. — La station, fort éloignée du lac en distance horizontale, ne *voyait* malheureusement pas toujours la traînée lumineuse d'une façon complète. A partir de 3^h 36^m, quelques arbres, à distance, devaient retenir une partie des rayons réfléchis. Si le lac eût été parfaitement calme, les rayons réfléchis n'auraient pu atteindre les instruments qu'à partir de 3^h 36^m à peu près (voir § **21**). C'est donc grâce à l'irrégularité de la surface de l'eau que la réflexion était déjà sensible bien avant ce moment-là.

15 *décembre.* Circonstances semblables à celles du 8 décembre. Air un peu moins calme.

Discussion des observations. — Résultats.

19. En parcourant les tableaux qui précèdent, on verra bientôt que les résultats n'offrent pas la régularité qui peut être obtenue dans les expériences de laboratoire. Dans les conditions où ils étaient placés, les appareils thermométriques étaient évidemment soumis à diverses influences perturbatrices. Le phénomène qu'il s'agissait d'observer ne doit d'ailleurs que bien rarement pouvoir se développer d'une façon régulière.

L'action du soleil varie à mesure que s'accroît l'inclinaison de ses rayons et que l'épaisseur atmosphérique devient plus considérable. Un thermomètre qui subit son

influence et qui est préservé des causes perturbatrices ambiantes doit présenter une variation régulière et offrir une marche exempte de points singuliers. C'est ce qui arrive avec le pyréliomètre de Pouillet lorsqu'on peut faire convenablement les corrections dues au refroidissement de l'air. Dans mes observations, cette marche régulière ne se rencontre guère. Le thermomètre de la boule C (et les colonnes S des quantités de chaleur) accuse bien, d'une manière générale et très nettement, la diminution de la chaleur à mesure que l'astre s'abaisse sur l'horizon ; mais cette diminution est tantôt plus, tantôt moins rapide, parfois même elle est interrompue par des retours.

La proportion de chaleur réfléchie par le lac (colonnes L) ne présente également pas la régularité qu'on pourrait attendre, quoique l'influence de la hauteur du soleil sur cette proportion soit extrêmement manifeste.

Parmi les causes qui ont provoqué ces irrégularités, il faut sans doute mentionner les suivantes :

L'agitation de l'air. L'air ne présentait naturellement jamais un calme absolu. Les stations se trouvent à la limite d'une grande surface liquide et de la terre ferme ou bien elles sont situées sur le versant assez fortement incliné d'une colline. Dans ces conditions et lorsque le soleil rayonne, il y a toujours dans l'atmosphère, quoique du plus au moins, un peu de mouvement. Ce mouvement varie d'ailleurs d'un moment à l'autre.

A rayonnement solaire égal, le thermomètre se maintiendra naturellement plus haut dans un air absolument calme que dans un air agité, et il oscillera si l'atmosphère qui l'entoure glisse tantôt un peu plus, tantôt un peu moins rapidement le long de sa surface. — Cette influence

de l'agitation de l'air fait que les quantités de chaleur inscrites dans les colonnes S ne peuvent point prétendre à représenter, dans leur variation avec la hauteur angulaire du soleil, les vraies quantités de chaleur versées par cet astre sur la terre. Ce n'était d'ailleurs pas là le but des présentes recherches. Mais on a vu plus haut que si l'agitation de l'air ne dépasse pas certaines limites, les rapports entre les vitesses du refroidissement des deux boules B et C se conservent sensiblement les mêmes et c'est de ces rapports seulement que dépend la détermination de la proportion de chaleur réfléchie par le lac, c'est-à-dire les nombres des colonnes L. Les irrégularités qui existent dans les nombres des colonnes S, dans certaines séries surtout, n'entraînent donc pas comme conséquence nécessaire des irrégularités dans les valeurs de L ([11]).

Etat du ciel. On a vu, par les renseignements relatifs à l'état météorologique de chaque journée d'observations, que le ciel n'a pas toujours été parfaitement pur. Quelques

([11]) Je ne prétends cependant pas que l'agitation de l'air ne soit pas aussi une cause qui produise parfois des irrégularités dans les valeurs L. Le calcul des quantités L suppose la constance du rapport des vitesses du refroidissement, malgré la variabilité des circonstances ambiantes. C'est sensiblement vrai pour des variations qui ne sont pas trop grandes et qui agissent en même temps sur les deux boules, c'est-à-dire pour les circonstances qui se trouvaient réalisées dans la majorité des cas.

Mais il y a parfois, dans l'atmosphère, une singulière localisation des courants et, malgré la faible distance des boules, ces appareils n'étaient pas toujours dans des conditions qu'on peut qualifier d'identiques. De là des influences inégales modifiant leur refroidissement, et, par suite, des causes d'erreur dans la détermination des rapports L. Ces causes d'erreur sont sans doute pour une certaine part dans les irrégularités que présente la suite des valeurs L pour diverses hauteurs angulaires du soleil.

cirrhus striés ou même de vrais nuages sont parfois venus affaiblir l'action du soleil, produire ainsi une irrégularité dans la marche des thermomètres et par conséquent dans les valeurs des colonnes S. J'ajouterai que, même dans les jours en apparence pure, si l'on observe avec beaucoup d'attention et un peu longuement la voûte céleste, si l'on prend des précautions pour ne pas être ébloui, on remarque fort souvent quelques traces nuageuses qui restent parfaitement inaperçues dans une première et rapide observation du ciel. On voit ou de vagues stries blanchâtres, ou des taches de même teinte qui sont probablement des cirrhus peu denses et très élevés. Ces taches varient de position. — Il est bien évident que les rayons solaires doivent être un peu plus affaiblis lorsqu'ils traversent une région atmosphérique ainsi troublée et cette circonstance doit produire de petites irrégularités dans les indications des thermomètres, même dans les jours notés comme tout à fait purs ([12])

([12]) Dans ses *Recherches sur le rayonnement solaire*, M. Quetelet signale aussi ce fait que, dans des jours réputés purs, la marche de l'actinomètre n'est pas d'accord avec la variation régulière de la hauteur du soleil.

« ..... On voit, par les tableaux, que les indications de l'actinomètre n'ont pas toujours été en rapport avec les hauteurs du du soleil ; ainsi, pour une hauteur solaire de 32° 12′, j'ai trouvé 15,35 degrés de l'actinomètre, tandis que j'en avais obtenu 22, 30 pour une hauteur solaire de 29° 56′ seulement, etc. »

Et ailleurs : « ..... Toutes les observations ont été faites par un ciel parfaitement serein, mais d'une pureté qui n'était pas toujours la même. Je regrette de n'avoir pu constater le degré de pureté de l'air au moyen d'un cyanomètre. Quoiqu'il en soit, les indications de l'actinomètre, d'après mes observations, n'ont pas suivi la loi de continuité que semblait devoir leur assigner la marche du soleil. Faut-il, pour expliquer ces anomalies, recourir à l'hypothèse de nuages transparents qui affectent certains instruments météréologiques, sans devenir sensibles à la vue ?

Outre l'obstacle apporté par les nuages proprement dits, l'air a aussi sa transparence modifiée par cette cause qui produit la brume, l'aspect vaporeux, etc. Cette brume est parfois assez prononcée à la surface du lac Léman, même dans les beaux jours ; elle n'est pas constante dans le cours d'une même journée et sa variabilité doit sûrement aussi influer sur la marche des instruments.

Il est à remarquer que l'état variable du ciel a pu apporter quelques irrégularités dans les valeurs des colonnes L, surtout pour les stations un peu éloignées du lac. Pour ces stations, en effet, les rayons solaires qui atteignaient directement la boule C, à un moment donné, traversaient l'atmosphère suivant une ligne parfois assez éloignée de celle que suivaient les rayons tombant sur la surface du lac, puis réfléchis vers la boule B. Or ces deux rayons, dans leur trajet, pouvaient rencontrer un air inégalement transparent et être par conséquent inégalement affaiblis. Dans ce cas-là, qui s'est probablement rencontré plusieurs fois, les nombres de la colonne L ne représentent pas la fraction du rayon incident qui a été réfléchie. La méthode, en effet, qui fournit ces nombres suppose que le rayon qui se réfléchit possède, à son point d'incidence sur le lac, une intensité égale à celle du rayon qui atteint la boule C.

L'anomalie que je signale ici a trouvé sa plus forte exagération dans la série du 7 novembre, à Rivaz, alors que les instruments ne recevaient à peu près plus les rayons directs du soleil, arrêtés par un nuage, tandis que

C'est une hypothèse qui a déjà été invoquée, et principalement pour se rendre compte de quelques circonstances particulières que présente l'électricité atmosphérique. » (*Annuaire météorologique* de France pour 1850.)

la surface de l'eau, encore brillamment éclairée, envoyait des rayons réfléchis (voir § 18 et tabl. XVIII depuis $3^h 46^m$).

Etat du lac. La surface réfléchissante présente une variabilité bien connue de chacun. — Dans aucun des jours d'observations, il n'y a eu de grosses vagues ; l'air n'était jamais assez agité pour cela. En revanche, le lac a été parfois, rarement, tout à fait calme, assez calme pour fournir une image nette et limitée du soleil ; d'autres fois, il était parcouru par ces petites ondulations, « vagues mortes » qui laissent assez unie la surface proprement dite. D'autres fois encore, et ç'a été le cas le plus fréquent, la surface de l'eau offrait de très petites vagues irrégulières ; elle était frissonnante, ridée ; — ou bien ridée uniformément, ou bien traversée par des bandes, des « fontaines » plus calmes, dessinant des routes bizarres à la surface du liquide.

La proportion de chaleur réfléchie doit être variable suivant cet état superficiel du liquide et c'est sans doute là une circonstance qui a dû, dans toutes les séries d'observations, quoique du plus au moins, apporter des irrégularités dans les indications des appareils ([13]).

([13]) Les « fontaines » entre autres, qui sont si fréquentes à la surface du lac Léman, sont probablement une cause importante de variation dans la proportion de chaleur réfléchie, et comme ces fontaines se déplacent souvent, se déforment, s'agrandissent, etc., leur influence doit se traduire par des irrégularités dans la marche des appareils,

Quelle est la cause qui produit ces bandes plus unies au milieu d'une nappe liquide frissonnante ? Dans une note récente (voir ce *Bulletin* N° 69 du vol. XII), M. le professeur Forel montre que les fontaines sont dues à la présence d'une couche de matière grasse, huileuse, étrangère à l'eau proprement dite, sur laquelle elle est répandue en pellicule infiniment mince. M. Forel apppuie son opinion d'expériences et d'observations

20. Au début des présentes recherches, j'avais compté faire la lecture des trois boules A, B et C à des heures fixes ; par exemple de dix en dix minutes. Mais les causes d'irrégularités qui viennent d'être mentionnées m'obligèrent à renoncer à ce projet. Il est évident, en effet, que les observations qui ont le plus de valeur sont celles qui sont faites le plus possible à l'abri des influences perturbatrices dont il vient d'être question. Ces influences (surtout les courants irréguliers et locaux de l'air), par leur origine même, sont essentiellement variables d'un instant à l'autre. On peut dire, par conséquent, que quant les thermomètres variaient rapidement, par exemple de quelques dixièmes de degré en une minute, il y avait quelque cause accidentelle provoquant cette variation. Si, au contraire, l'air était bien calme ou n'était que très faiblement agité, que les rayons solaires se propagaient dans une atmosphère bien pure, les instruments conservaient, pendant un temps assez long, la même température ou ne variaient que lentement et régulièrement.

Ces détails expliquent pourquoi, dans les tableaux qui précèdent, les observations ne sont pas toujours faites à des intervalles égaux. Les thermomètres étaient suivis d'une manière à peu près continue ; mais je notais les températures simultanées seulement lorsque leurs indications n'avaient pas éprouvé de variations notables et brusques depuis quelques instants.

Il est à remarquer que les observations de diverses séries ne peuvent guère être combinées pour fournir des moyennes. Ces séries, en effet, ont été obtenues dans des

qui ont une grande valeur. Si cette explication est juste, on doit en conclure avec d'autant plus de probabilité que les fontaines doivent modifier la proportion de chaleur réfléchie.

circonstances un peu différentes de l'une à l'autre. L'état de la surface réfléchissante est essentiellement variable et il se peut que la loi suivant laquelle l'intensité de la chaleur réfléchie dépend de l'angle d'incidence ne soit pas la même dans divers états de la surface du lac. La transparence variable de l'air empêche également de comparer avec sécurité les résultats d'un jour avec ceux d'un autre jour.

La situation différente des stations, les unes plus rapprochées, les autres plus éloignées du lac, ne permet également pas de combiner entre elles les valeurs obtenues dans ces localités différentes. — Pour ces diverses motifs, il m'a paru d'une meilleure méthode de ne pas chercher à former des moyennes.

21. Si la nappe réfléchissante eût été parfaitement unie, les rayons solaires renvoyés par la surface de l'eau n'auraient pu aboutir aux instruments que quand l'astre aurait atteint une hauteur convenable, variant d'une station à l'autre, dépendant de son altitude et de sa distance au rivage. La boule B n'aurait pu accuser une élévation de température que quand elle aurait commencé à *voir* l'image du soleil. En réalité, le lac étant toujours plus ou moins irrégulier à sa surface, des rayons réfléchis pouvaient atteindre les instruments plus tôt. Avant l'instant où une image nette du soleil aurait pu apparaître vers le rivage, il se formait déjà, près du bord, une traînée brillante, plus ou moins élargie. Des rayons lumineux et chauds étaient renvoyés par les faces diversement inclinées des petites vagues du lac. Ce fait est surtout très frappant pour les deux séries de la Vuachère. La distance de la station au rivage et son altitude étaient telles que, pour

une surface réfléchissante unie, les rayons n'auraient pas pu atteindre les instruments avant que la hauteur du soleil fût d'environ 5°30′. Or, on voit que des quantités de chaleur réfléchie très appréciables atteignaient les instruments bien avant ce moment-là.

On aperçoit, cependant, en parcourant les tableaux des observations, que la quantité de chaleur réfléchie demeure fort petite tant que les rayons incidents de l'astre font un angle un peu grand avec la surface de l'eau. A la tour Haldimand, où les appareils pouvaient déjà recevoir des rayons réfléchis sous un angle de 55°, la chaleur est encore très-faible ou nulle de 31° à 30°. On remarque un fait semblable au Dézaley et à Chexbres. — En somme, la proportion de chaleur réfléchie sous une incidence de 30° a été ou inappréciable ou inférieure à 0,01 de la chaleur incidente, quel que fût l'état du lac.

Lorsque l'incidence passait de 30 à 25°, la chaleur réfléchie devenait appréciable dans toutes les séries, mais en demeurant encore assez faible, de telle sorte que, pour une incidence de 25°, la proportion a toujours été inférieure à 0,08.

A mesure que le soleil s'abaissait sur l'horizon et que ses rayons atteignaient plus obliquement la surface de l'eau, la quantité de chaleur réfléchie augmentait. — Suivant quelle loi se fait cette augmentation?

Pour mieux juger de l'influence de l'incidence, j'ai construit les courbes qui représentent quelques-unes des séries numériques des tableaux ci-dessus (colonnes L). On les trouvera dans les Planches II et III. L'axe horizontal est celui des distances zénithales de l'astre, un degré est représenté par 10^{mm}. Les ordonnées représentent la fraction de chaleur réfléchie à raison de 1^{mm} pour 0,01

de la chaleur incidente. — La Pl. II renferme : Ouchy 15 septembre (courbe 1) ; 14 sept. (2) ; 12 sept. (3) ; 20 sept. (4) ; Tour Haldimand 5 octobre (5) et T. H. 19 octobre (6). — Dans la Pl. III se trouve : Dézaley 28 septembre (courbe 1) ; 17 octobre (2) ; 9 oct. (6) ; 18 oct. (3) ; Chexbres 26 septembre (5) ; Rivaz 7 novembre (4). (Voir la note 15.)

Ces courbes montrent assez l'influence des causes énumérées plus haut comme devant produire des irrégularités dans une même série et des différences souvent fort grandes d'une série à l'autre. On voit, d'une manière générale, comment la quantité de chaleur réfléchie augmente avec la distance zénithale du soleil ; mais il serait difficile d'en déduire une loi précise. Il est à remarquer, d'ailleurs, que cette loi ne pourrait ressortir directement des observations que là où la chaleur réfléchie a pu atteindre les instruments sans traverser une couche d'air un peu considérable à partir du point de réflexion, et là où le rayon incident sur la surface de l'eau est assez voisin de celui qui frappe la boule C pour qu'on puisse les considérer comme d'égale intensité à chaque instant. Cette double condition ne pouvait évidemment être convenablement remplie que dans les stations d'Ouchy et Tour Haldimand, et avec une surface réfléchissante assez unie pour que les rayons réfléchis provinssent uniquement d'une image à peu près nette du soleil et non d'une longue traînée brillante. Les Tabl. V à XI montrent, en effet, que pour ces deux stations le point de réflexion se trouvait à une distance (colonnes D) le plus souvent inférieure à cinquante mètres des appareils.

Les courbes de la Pl. III, se rapportant à des stations passablement éloignées du lac, doivent représenter moins

bien l'influence de l'angle d'incidence des rayons sur la quantité de chaleur réfléchie.

22. Quelle est l'influence de l'état de la surface du lac sur la proportion de chaleur réfléchie? — On a vu que dans la plupart des séries d'observations, le lac n'était pas parfaitement uni ; il offrait à la surface ou bien des ondulations assez prononcées, ou bien ces très petites vagues qui lui donnent un aspect ridé et chagriné.

Il arrive d'ailleurs aussi que l'aspect ridé s'ajoute à des vagues proprement dites.

En consultant mes notes sur l'état du lac, et en les comparant avec les proportions de chaleur réfléchie, je trouve entre autres, comme méritant d'être signalés, les rapprochements suivants :

Ouchy. Le 15 septembre, le lac était plus calme au commencement des observations. Les vagues sont devenues de plus en plus prononcées, faisant clapotement sur le rivage. La quantité de chaleur réfléchie n'a pas suivi la courbe ascendante que faisaient prévoir les premières observations.

Le 20 septembre, il s'est produit un fait semblable à celui du 15. Le lac était uni lors des premières observations; il est devenu frissonnant et clapotant plus tard. La quantité de chaleur réfléchie a été, relativement à d'autres jours, forte surtout au début.

Le 12 septembre, circonstances inverses de celles des jours précédents. Le lac était frissonnant au début ; il est devenu de plus en plus calme. Vers la fin de la série, il y avait une image à peu près nette du soleil près du bord et, en même temps, au large, une traînée brillante due à

une surface ridée. La chaleur réfléchie est devenue très forte et a présenté le maximum constaté dans ces recherches.

Tour Haldimand. Le 19 octobre, la surface du lac était un peu agitée et frissonnante au commencement des observations. Elle est devenue de plus en plus calme. Lors des dernières observations, le lac était comme de l'huile, avec une image nette du soleil et aucune trace de traînée. La quantité de chaleur réfléchie a été, relativement à d'autres jours, faible au commencement ; elle est devenue surtout considérable vers la fin où elle a atteint un maximum semblable à celui du 12 septembre à Ouchy.

Dézaley. 17 octobre. Le lac a été toujours frissonnant et a fourni une longue traînée. A un certain moment, il s'est formé une région plus calme, près du rivage. La proportion de chaleur réfléchie s'est accrue justement à ce moment-là (courbe 2, Pl. III ; distance zénithale 73 à 74^0).

Le 28 septembre, le lac a été bien calme pendant la plus grande partie des observations, fournissant une image presque nette du soleil. La quantité de chaleur réfléchie n'a pas été aussi grande que dans d'autres séries, excepté lors des dernières observations où elle a atteint les plus fortes valeurs obtenues au Dézaley (courbe 1, Pl. III).

Rivaz. Le 7 novembre, le lac était presque tout à fait calme; la réflexion donnait une *place* éclatante, mais non une traînée. Vers 2^h 52^m, le bateau à vapeur vint passer précisément dans la région où se faisait la réflexion, et produisit pendant quelque temps, à la surface de l'eau, l'agitation que chacun connaît. La quantité de chaleur réfléchie, observée quelques minutes après, parut un peu

plus faible (voir tabl. XVIII à 2^h 57^m); elle reprit plus tard sa marche ascendante en même temps que l'astre s'abaissait vers l'horizon.

Les détails qui précèdent montrent que, d'une manière générale, la proportion de chaleur réfléchie est plus grande lorsque la surface de l'eau est plus calme et que la réflexion s'approche de donner une image nette du soleil. Cette loi me paraîtrait bien établie s'il n'y avait pas les observations du 28 septembre, au Dézaley, qui font une exception assez frappante et qui m'obligent à ne présenter cette conclusion qu'avec une certaine réserve.

Les circonstances qui fournissent le plus de chaleur réfléchie sont celles qui se trouvaient réalisées de la manière la plus accentuée à Ouchy, le 12 septembre. Ces circonstances se sont reproduites, quoique à un moindre degré, dans quelques autres moments. Le lac étant très calme près du rivage donnait une image limitée du soleil; en même temps, la surface de l'eau était un peu agitée et frissonnante loin du bord; elle fournissait une traînée brillante dont la réflexion venait s'ajouter à celle qui se produisait sur les parties du lac voisines du rivage.

23. La distance des stations jusqu'au lac et leur altitude ne sont évidemment pas indifférentes à la quantité de chaleur qui peut les atteindre. Là où les thermomètres étaient placés près de la surface de l'eau, sur le rivage, les rayons réfléchis n'avaient qu'une faible couche à traverser pour arriver à la boule B. Ces conditions se trouvaient réalisées à Ouchy et à la Tour Haldimand. Les tableaux V à XXIII indiquent, dans les colonnes D, le chemin que devait parcourir le rayon réfléchi, dans le cas d'un lac parfaitement uni et d'une réflexion en un point

unique. Comme la surface de l'eau était le plus souvent un peu agitée, une partie des rayons réfléchis venaient d'une région du lac beaucoup plus éloignée et ils subissaient par conséquent une absorption plus grande que celle qui résulterait seulement de la distance D. On voit immédiatement que, par cette circonstance, l'état de la surface du lac doit influer sur la forme de la courbe qui représente la relation entre la chaleur réfléchie et la hauteur du soleil. Par un lac parfaitement calme, la couche d'air traversée demeure faible; même lorsque le soleil est bas sur l'horizon. Par un lac agité, les rayons qui atteignent les instruments se sont réfléchis, en partie, dans des points beaucoup plus éloignés, très variables suivant la hauteur du soleil, et avant d'arriver aux thermomètres ils subissent une absorbtion en traversant les couches d'air assez riches en vapeur d'eau qui recouvrent le lac. L'influence dont il est ici question a pu avoir une importance qu'il me paraît impossible d'évaluer; mais on comprend que les courbes des planches II et III ne pouvaient se trouver ni bien régulières ni bien concordantes, puisque l'élément qu'elles représentent dépend d'un facteur aussi variable que l'état de la surface de l'eau.

Dans les stations plus éloignées du lac, telles que le Dézaley, Rivaz, etc., la chaleur réfléchie avait un chemin encore plus long à franchir entre la surface de l'eau et les appareils. Pour de faibles hauteurs du soleil, cette distance devenait considérable. Elle a souvent dépassé 1000 mètres d'après les nombres des colonnes D ; en réalité, elle était le plus souvent encore bien plus grande que ne l'indiquent ces nombres mêmes, parce que la réflexion provenait d'une traînée due à une surface frissonnante. On comprend qu'alors l'absorption produite par

l'air pouvait notablement affaiblir la chaleur reçue par la boule B.

A mesure que l'incidence des rayons augmentait, la proportion de chaleur réfléchie s'accroissait ; mais en même temps le chemin à parcourir jusqu'aux appareils devenait de plus en plus grand. Il pouvait ainsi se faire que, au-delà d'une certaine limite, la seconde influence l'emportant sur la première, la proportion de chaleur réfléchie reçue par les instruments cessât de s'accroître et atteignît un maximum pour diminuer ensuite. L'existence de ce maximum, suivi d'un décroissement, pour les faibles hauteurs du soleil, se retrouve évidemment dans plusieurs séries des stations éloignées du lac. On peut comparer, sous ce rapport, les courbes de la Pl. III (1, 2, 3, 5, 6), et celles de la Pl. II. — Les observations faites à la Vuachère sont également significatives dans le même sens (voir table XXII et XXIII), et malgré l'irrégularité des résultats, on voit que, pour une faible hauteur du soleil et une très longue distance parcourue par la chaleur réfléchie, cette proportion de chaleur diminue.

Une autre circonstance qui tend à faire paraître plus faible la chaleur réfléchie dans les stations élevées au-dessus du lac est la suivante : La méthode suivie pour calculer les nombres des colonnes L suppose que le rayon incident sur la surface de l'eau et qui, par sa réflexion, aboutit aux appareils, a la même intensité, à chaque instant, que le rayon solaire reçu directement par la boule C. Cela doit être sensiblement vrai lorsque les appareils sont près du rivage. Mais à mesure que les thermomètres sont plus élevée au-dessus de l'eau, les conditions cessent d'être aussi simples. Le rayon qui va jusqu'au lac et qui s'y réfléchit traverse une couche atmos-

phérique plus épaisse que celui qui arrive directement aux instruments ; il est donc plus affaibli que ce dernier par l'absorbtion. — Par conséquent, en comparant la chaleur réfléchie qui atteint la boule B à la chaleur directe qui frappe C, on compare cette chaleur réfléchie avec un rayon un peu plus intense que celui d'où elle provient par une réflexion à la surface de l'eau. Le rapport doit donc paraître un peu plus faible qu'il n'est en réalité. Il y aurait là le motif d'une petite correction, malheureusement impossible à faire parce que l'on ne connaît pas assez bien la loi suivant laquelle la chaleur solaire est absorbée dans les couches profondes de l'atmosphère. Cette correction aurait pour résultat d'augmenter d'une petite quantité les chiffres des colonnes L dans les stations élevées, afin de les rendre comparables à ceux des stations inférieures.

24. Les tableaux ci-dessus, ainsi que les courbes des Pl. II et III font voir quelle est la fraction de la chaleur solaire réfléchie par le lac. Même en faisant la part des diverses causes d'erreur et d'incertitude qui ont été précédemment exposées, les chiffres obtenus montrent que cette chaleur réfléchie atteint une valeur considérable pour certaines hauteurs du soleil et dans certains états convenables de la surface du lac.

La plus forte proportion de chaleur réfléchie a été obtenue à Ouchy, le 12 septembre 1863, alors que le soleil était à 4°38′ au-dessus de l'horizon, et le 19 octobre 1863, à la Tour Haldimand, par 3°34′ de hauteur du soleil. Ce maximum a été 0,68 de la chaleur incidente. Outre ces deux cas extrêmes, il y a encore deux observations, dans

les stations basses, où la chaleur réfléchie dépasse la moitié de la chaleur incidente ([14]).

Une proportion de chaleur réfléchie comprise entre 0,40 et 0,50 de la chaleur incidente, se rencontre un certain nombre de fois aux stations d'Ouchy, Tour Haldimand, Dézaley et Rivaz, pour des hauteurs du soleil inférieures ou au plus égales à 7°27'.

La proportion 0,30 à 0,40 se retrouve plus fréquemment encore et pour des hauteurs du soleil inférieures ou au plus égales à 11°56'.

La proportion 0,20 à 0,30 est naturellement plus fréquente et se rencontre pour des hauteurs inférieures ou au plus égales à 16°35'.

Les quantités de chaleur inférieures à 0,20 forment la majorité de celles qui ont été observées et correspondent

([14]) Par ce qui a été exposé précédemment, on a vu que la méthode employée pour calculer les quantités relatives de chaleur reçues par les deux boules n'a point la prétention de donner des résultats très exacts. Si l'on a égard aux causes qui peuvent diminuer le degré d'approximation que fournit cette méthode, on verra sans peine que ces causes doivent prendre plus d'importance lorsque les excès de température des boules **B** et **C** diffèrent beaucoup l'un de l'autre, ainsi lorsque **B** s'éloigne peu de la nature ambiante tandis que **C** présente un écart de 10 à 12°. Ce sera le contraire quand les deux boules ont des températures moins différentes et que **B**, par conséquent, s'éloigne davantage de la température ambiante.

En outre, dans le premier cas, une différence de un ou deux dixièmes de degré du thermomètre **B** peut changer assez fortement le chiffre qui représente la proportion de chaleur réfléchie; dans le deuxième cas, la même incertitude aura une portée beaucoup moins grande.

Il résulte de là que l'erreur relative dans l'évaluation de la proportion de chaleur réfléchie est plus faible quand cette proportion est forte. C'est pour les fractions (colonne L) très petites que les erreurs de l'observation et les imperfections de la méthode peuvent acquérir le plus d'importance.

généralement à des hauteurs du soleil supérieurs à celles qui viennent d'être indiquées. — On a vu plus haut que les premières traces de chaleur réfléchie l'ont été seulement lorsque le soleil arrivait à une hauteur d'environ 30°.

A la station de Chexbres, la chaleur réfléchie a toujours été inférieure à 0,20. Cela tient sans doute à l'altitude de cette station. Le lac ayant été clapotant ou ridé durant les séries qui ont été faites à Chexbres, les rayons provenaient toujours d'une traînée plus ou moins longue et par conséquent d'une distance sûrement fort grande. Ils étaient par conséquent absorbés dans une grande mesure par les couches inférieures de l'atmosphère avant d'atteindre les instruments.

A la Vuachère, les rayons arrivaient également d'un lac un peu frissonnant et d'une distance très considérable. On voit que, dans cette station si éloignée du rivage, la chaleur réfléchie n'a jamais dépassé 0,12 de la chaleur directe fournie par le pâle soleil de décembre (voir la remarque du § **18**).

25. On a vu précédemment pourquoi les quantités de chaleur des colonnes S ne peuvent pas être considérées comme donnant la loi suivant laquelle la chaleur directe du soleil varie avec la hauteur de cet astre. Cette loi ne peut être fournie que par des instruments où l'on tient compte de l'influence refroidissante du milieu ambiant (pyrhéliomètre Pouillet) ou par des instruments dans lesquels le milieu ambiant est maintenu constant (appareils de Soret, Secchi). — Si l'on suppose connue la loi dont il s'agit et si les présentes expériences fournissaient la proportion de chaleur réfléchie par le lac pour diverses incidences (lac supposé uni), on pourrait évidemment cal-

culer la quantité *réelle* de chaleur fournie par la réflexion du lac pour les diverses hauteurs du soleil.

Les résultats obtenus dans les présentes recherches ne permettent pas de calculer avec exactitude cette quantité de chaleur. Cependant, en choisissant dans les séries citées plus haut celles qui paraissent offrir le plus de régularité, soit dans les valeurs S, soit dans les rapports L, on peut entreprendre, au moins avec une certaine approximation, le calcul dont il s'agit.

On obtiendra évidemment les quantités réelles de chaleur réfléchie en faisant, pour chaque observation en particulier, le produit des nombres L par S. — J'ai choisi, pour ce calcul, les séries du Dézaley 28 septembre et 18 octobre, d'Ouchy 12 septembre, et de la Tour Haldimand 5 octobre. On trouvera, dans le tableau XXIV, les valeurs obtenues, lesquelles ont servi à construire les courbes M de la Pl. III ([15]).

On ne peut pas s'attendre à trouver, pour ces quatre séries, des courbes semblables ou des courbes bien régulières puisque toutes les causes perturbatrices ou variables (transparence de l'air, état du lac, distance de la station) qui influent sur S et sur L exercent aussi leur influence sur le produit de ces deux quantités.

A mesure que le soleil descend vers l'horizon, S diminue; en revanche, L augmente. L'inspection des courbes montre que, d'une manière générale, c'est cette dernière

([15]) Les rapports L sont donnés dans les Tabl. V à XXIII avec deux chiffres décimaux seulement; mais je les avais calculés, dans l'origine, jusqu'aux millièmes. Dans le Tabl. XXIV, le produit L × S a été obtenu en utilisant les rapports L avec trois chiffres décimaux. Les courbes des Pl. II et III ont aussi été construites en utilisant les millièmes.

influence qui l'emporte ; c'est-à-dire que la quantité de chaleur réfléchie s'accroît généralement lorque l'astre s'abaisse. On aperçoit cependant que les quatre courbes indiquent un maximum ; en d'autres termes, qu'il y a une certaine hauteur du soleil, un peu avant son coucher, pour laquelle la quantité de chaleur réfléchie est la plus forte et à partir de laquelle la chaleur renvoyée par le lac diminue. Cette existence d'un maximum se vérifie dans toutes les autres séries, du moins dans toutes celles où les observations se sont poursuivies jusque près du coucher du soleil ; seulement, le maximum se produit un peu plus tôt ou un peu plus tard. Il doit effectivement varier avec l'état du lac.

(Tableau XXIV.)

26. Dans le tableau XXIV, le produit S L donne la quantité de chaleur réfléchie par le lac aux diverses heures d'observations, entre le moment où cette réflexion commence à être sensible jusque vers le coucher du soleil.

Il serait intéressant de pouvoir évaluer la quantité *totale* de chaleur réfléchie qui arrive à une station pendant les quelques heures où la réflexion peut l'atteindre. Cette quantité est évidemment variable d'un jour à l'autre pour les diverses raisons souvent indiquées déjà. Elle doit dépendre en outre de la hauteur et de l'orientation de la station par rapport au lac. Elle variera enfin par suite du changement de déclinaison du soleil. — Cependant, malgré ces influences qui enlèvent toute constance à l'élément dont il s'agit, il paraît intéressant de savoir, approximativement au moins, ce que peut être cette somme totale de chaleur dans quelques conditions déterminées.

J'ai cherché à faire cette évaluation pour les quatre

TABLEAU XXIV.

DÉZALEY 18 octobre.		DÉZALEY 28 sept.		TOUR HALDIMAND 5 octobre.		OUCHY 12 septembre.	
Distance zénith.	L × S	Distance zénith.	L × S	Distance zénith.	L × S	Distance zénith.	L × S
64°,24′	0,25	63°,44′	0,16	66°,08′	0,35	58°,26′	0,08
64,27	0,23	65,52	0,34	69,08	0,53	62,58	0,34
65,33	0,35	68,51	0,88	72,51	0,34	65,20	0,65
66,43	0,34	72,43	1,37	74,25	0,54	67,46	0,76
67,20	0,54	74,29	1,25	76,46	1,24	70,12	1,00
67,55	0,75	75,55	1,49	78,22	1,61	72,43	1,37
68,31	0,65	77,03	1,62	80,48	2,38	75,14	1,62
69,10	1,00	80,20	1,86	82,46	2,51	77,16	2,90
70,28	1,25	84,00	2,38	84,14	2,76	78,38	2,38
71,09	1,59	84,59	2,64	85,42	2,64	80,21	2,12
72,31	2,00	85,49	2,51			82,33	2,25
73,12	2,24	86,10	2,38			83,43	2,25
78,19	2,89					85,22	2,00
80,36	3,12						
81,22	3,15						
82,57	2,63						
83,43	2,12						

séries du Tabl. XXIV, en comparant les quantités de chaleur S L avec celles qui résultent de l'action directe du soleil et qui sont inscrites dans les colonnes S des tableaux précédents. — J'ai considéré la durée totale des observa-

tions d'une série comme partagée en intervalles de quinze minutes, puis j'ai supposé que, durant chacun de ces intervalles, l'action solaire (directe et réfléchie) demeurait constante. J'ai cherché ensuite, pour ces diverses séries et pour les quarts d'heure successifs, les nombres qui représentent le plus approximativement la chaleur directe et la chaleur réfléchie. En ajoutant ces deux groupes de nombres, on obtient deux sommes qui sont proportionnelles l'une à la chaleur directe et l'autre à la chaleur réfléchie. — Voici les résultats de cette comparaison :

Dézaley, 28 septembre. A partir de 2^h 30^m, la chaleur directe est représentée par 133,6 et la chaleur réfléchie par 16,6.

Dézaley, 18 octobre. A partir de 3^h, chaleur directe, 125,3 ; — chaleur réfléchie, 19,9.

Ouchy, 12 septembre. A partir de 3^h, chaleur directe, 79,6 ; — chaleur réfléchie, 15,4.

Tour Haldimand, 5 octobre. A partir de 3^h, chaleur directe, 102,9, — chaleur réfléchie, 12,4.

Au Dézaley, on trouve donc que, à partir du moment où le lac a commencé à réfléchir jusque tout près du coucher du soleil, la chaleur réfléchie a été douze centièmes, le 28 octobre, et seize centièmes, le 18 octobre, de la chaleur directe fournie par l'astre.

A Ouchy, la même évaluation donne dix-neuf centièmes ; à la Tour Haldimand, douze centièmes.

Par le mode de comparaison qui vient d'être mentionné, on peut aussi évaluer l'importance relative de la somme de chaleur réfléchie en recherchant pendant combien de temps le rayonnement direct fournit une somme équiva-

lente. Voici ce que l'on trouve : Au Dézaley, les 28 septembre et 18 octobre, toute la chaleur réfléchie par le lac et qui a pu atteindre la station est à peu près égale à celle que le soleil envoyait directement pendant les trois derniers quarts d'heure avant son coucher. — A Ouchy, le 12 septembre, la chaleur réfléchie est un peu supérieure à celle que le soleil a donné durant les trois dernières quarts d'heure; à la Tour Haldimand, le 5 octobre, cette chaleur équivaut à peu près à celle qui a été fournie par cet astre durant la dernière demie-heure avant son coucher.

Les évaluations qui précèdent ne doivent être considérées, je l'ai déjà dit, que comme des approximations; je les crois cependant peu éloignées de la vérité. Ces évaluations, d'ailleurs, s'appliquent à certains cas déterminés. Elles fourniraient évidemment d'autres chiffres pour des circonstances différentes d'état du lac, d'état de l'air, d'orientation et d'altitude de la station, de déclinaison du soleil, etc. — Il est permis d'ajouter que les circonstances où l'on peut recueillir beaucoup de chaleur réfléchie sont rarement plus favorables que celles qui se trouvaient réalisées dans les séries dont il vient d'être question. (Voir le § 35.)

27. Sans être bien considérable, la chaleur solaire réfléchie par le lac est cependant assez importante pour exercer une influence sensible sur le climat des régions qui peuvent en profiter. Grâce au lac, la chaleur qui atteint une partie de la région située à l'est, au nord et à l'ouest du bassin du Léman se trouve un peu augmentée. C'est comme si, durant une certaine fraction de l'année, laquelle varie avec la situation des stations, le temps pendant lequel le soleil se trouve sur l'horizon était un peu prolongé.

Cet accroissement de chaleur doit avoir quelque influence sur la végétation et spécialement sur les vignobles qui recouvrent les pentes plus ou moins fortement inclinées du côté du lac. Le moment de l'année où la chaleur réfléchie par le lac peut atteindre la côte doit passablement varier d'une région à l'autre à cause de l'orientation. Ainsi, par exemple, le vignoble de Villeneuve, à l'extrémité orientale du lac, reçoit de la chaleur réfléchie à la fin des jours chauds de Juillet et d'Août, tandis que à, cette époque, les vignobles de Lavaux n'en reçoivent pas d'une manière sensible. A ce moment, lorsque le soleil est assez bas sur l'horizon pour que le lac réfléchisse, l'azimut dans lequel se trouve l'astre ne permet pas aux rayons réfléchis d'atteindre Lavaux, tandis que la réflexion atteint parfaitement Villeneuve. — En automne au contraire, en septembre et octobre, plusieurs parties de Lavaux et spécialement les pentes fortement inclinées du Dézaley et de Rivaz reçoivent très bien la chaleur réfléchie. Il en est de même, quoique à un moindre degré, de Montreux et de Vevey.

Il me paraît probable que cette différence dans le moment où la chaleur réfléchie vient ajouter son action à la chaleur directe doit correspondre à quelque différence dans son action sur les végétaux. — Dans le vignoble de Villeneuve, la chaleur du lac vient agir durant une certaine phase de la végétation; au Dézaley, cette chaleur agit durant une autre phase. Ici, le raisin est près de sa maturité; là, il est encore en formation. Il est fort possible que ces différences ne soient pas étrangères aux différences dans la qualité des produits, et on peut se demander, entre autres, si la richesse en alcool bien connue des vins du Dézaley (richesse supérieure à celle de tous les autres crûs des bords du lac) ne provient pas de

ce que ce vignoble est particulièrement favorisé par la chaleur réfléchie à l'époque où le raisin mûrit et où le sucre se forme dans son intérieur.

On a vu que l'intensité de la chaleur réfléchie diminue pour des stations plus éloignées du lac à cause de l'absorbtion produite par la couche d'air traversée. Malgré cette diminution, cette chaleur doit se faire sentir jusque dans la zone supérieure au vignoble et jusque sur les flancs des montagnes qui entourent le bassin du Léman à son extrémité orientale. La colline de Sonchaud, qui domine Chillon, les monts de Caux, etc., sont très favorablement situés pour recevoir la chaleur réfléchie par le lac à la fin des jours de l'été et de l'automne. La végétation arborescente de ces sous Alpes doit bénéficier, dans une petite mesure, de ce surcroît de chaleur.

28. L'action réfléchissante du lac doit s'exercer en plus ou moins forte proportion sur *toutes* les radiations qui composent le flux solaire. Dans les expériences dont il est ici question, il s'agissait de la mesure de la chaleur, c'est-à-dire des radiations à faible réfrangibilité ou de la portion ultra-rouge du spectre, et des radiations à réfrangibilité moyenne, lesquelles produisent aussi l'impression de la lumière. — Il est extrêmement probable que les radiations très réfrangibles de la région ultra-violette se réfléchissent aussi. Ces radiations-là, et une partie de celles qui produisent l'effet lumineux, forment une fraction du flux solaire dont l'effet thermique est très faible, mais dont l'action finale n'est pas nulle pour cela. Cette fraction provoque, on le sait, les phénomènes chimiques et elle doit agir, dans une certaine mesure, sur la végétation.

Je ne sais quelles sont les radiations élémentaires du

flux solaire qui impressionnent le plus vivement l'épiderme chez l'homme, qui produisent ce changement de coloration, ce hâle si caractéristique du visage et des mains. Il me paraît probable que ces radiations sont réfléchies dans une forte proportion par le lac, car les personnes qui sont fréquemment et longuement exposées au soleil, près de la surface de l'eau (bateliers, etc.) présentent un hâle particulièrement foncé. Il est à remarquer d'ailleurs que la direction, oblique de bas en haut, des rayons réfléchis rend illusoire le rôle protecteur ordinaire de la coiffure.

Les végétaux qui reçoivent les radiations lumineuses et calorifiques réfléchies par le lac les reçoivent dans une direction assez différente de celle qui est suivie par le rayonnement direct du soleil. Les rayons réfléchis arrivent « par dessous » ; ils atteignent des portions ou des faces du végétal que n'atteindraient pas les rayons directs. Cette différence m'a apparu avec toute son importance au Dézaley, à l'époque où les raisins étaient en pleine maturité, et où j'ai constaté, sur un grand nombre de ceps, que beaucoup de grappes étaient éclairées et réchauffées par les rayons réfléchis, tandis que les rayons directs, arrêtés par les feuilles et les parties supérieures de la plante, les atteignaient imparfaitement. Dans bien des cas, sans doute, cette addition de la chaleur et de la lumière réfléchies peut contribuer à dorer plus uniformément les grains de raisin.

29. On observe fréquemment, près de la surface du lac Léman, le phénomène optique du mirage. — Le mirage se produit, on le sait, lorsque les couches inférieures de l'air sont notablement plus chaudes que celles qui sont immédiatement au-dessus. Cette différence de température

détermine une densité plus faible dans les couches les plus basses ; elle se rencontre habituellement lorsque l'eau est plus chaude que l'air et que les portions inférieures de l'atmosphère se réchauffent exceptionnellement par le voisinage et le contact de la surface acqueuse.

Mais on observe quelquefois des mirages parfaitement caractérisés alors que les températures relatives de l'air et de l'eau ne permettent pas de supposer que c'est le contact de l'eau qui a réchauffé l'air. On observe des mirages alors que la température de l'air est de plusieurs degrés supérieure à celle de l'eau. Je puis citer, comme exemple, les mirages qui existaient lors des séries d'observations faites à la Tour Haldimand (voir § 18). La température du lac, *près du bord*, était de 14 à 15°. Au large, cette température était très probablement encore plus faible. Il suffit de consulter les tableaux pour voir que l'air, même à une certaine hauteur au-dessus de la surface, était plus chaud. Ce n'est donc pas le contact du liquide qui pouvait donner aux couches atmosphériques les plus rapprochées de la surface une température un peu plus élevée que celle des couches plus éloignées de l'eau.

Dans des cas semblables (et ils sont très fréquents), l'explication du phénomène doit être cherchée ailleurs que dans une influence réchauffante de l'eau sur l'air. — Je pense qu'on peut indiquer deux causes comme capables de produire les circonstances nécessaires pour que le mirage ait lieu.

1. Les couches d'air très voisines de l'eau sont probablement un peu plus riches en vapeur d'eau que celles qui sont plus élevées. Or, l'air plus humide agit, quoique à un faible degré, comme un corps moins réfringent par rapport à l'air moins humide. Cette cause-là explique sans

doute à elle seule les mirages faibles, mais pourtant bien reconnaissables, qui s'aperçoivent alors que l'eau est moins chaude que l'air et que les nuages empêchent le rayonnement du soleil.

2. Lorsque le soleil brille, ses rayons sont probablement absorbés en plus forte proportion par les couches très voisines de l'eau, parce que ces couches sont plus chargées de vapeur. Cette absorbtion doit se faire sur le rayon direct et sur le rayon réfléchi ; elle doit contribuer à réchauffer les couches les plus basses un peu plus que celles qui sont plus élevées et, pour ce motif, donner lieu à la différence de densité dont le mirage est une conséquence.

L'observation directe m'a montré ([16]) qu'un décroissement de température au plus égal à *un* degré, entre la couche d'air la plus rapprochée de l'eau et celle qui est à un mètre, suffit pour que le mirage soit extrêmement prononcé et pour que le plan caustique paraisse très élevé au-dessus du lac. Des différences de température bien plus faibles peuvent donc suffire pour donner lieu à des mirages qui sont bien plus faibles également.

30. La réflexion de la chaleur solaire par la surface d'un grand bassin d'eau ne dépend sans doute pas de l'absence de salure. Je pense donc que les phénomènes qui sont étudiés dans le présent travail se produisent à la sur-

([16]) « Des températures de l'air et des mirages, etc. » *Bulletin de la Soc. des Sc. nat.*, nos 37 et 38, année 1856.

Je compte revenir, dans un autre occasion, sur cette question des mirages qui apparaissent lorsque la température de l'eau est plus froide que celle de l'air.

face de la mer et donnent lieu aux mêmes conséquences favorables pour la végétation des côtes convenablement orientées.

A mesure qu'on s'éloigne de l'équateur, l'obliquité moyenne des rayons solaires augmente et par conséquent ceux de ces rayons qui atteignent les surfaces océaniques doivent se réfléchir dans une proportion de plus en plus forte. Une partie de ces rayons réfléchis est absorbée par l'atmosphère et sert à la réchauffer, mais une autre partie échappe à cette absorbtion et est rejetée vers les espaces célestes. La prédominance considérable des mers dans les hautes latitudes de l'hémisphère austral doit donc avoir pour conséquence une moins grande utilisation de la chaleur directement fournie par le soleil. Dans l'hémisphère nord, où les surfaces continentales l'emportent, cette perte de chaleur doit être moins grande.

Je m'empresse d'ajouter que cette considération isolée ne suffit pas pour qu'on ait le droit de conclure à une température moyenne plus basse de l'hémisphère austral. La chaleur qui réchauffe les hautes latitudes des zones tempérées et polaires n'est pas uniquement due au rayonnement direct du soleil; les courants marins et atmosphériques qui, de l'équateur, arrivent dans ces latitudes y apportent une grande masse de chaleur, soit à l'état de chaleur sensible soit à l'état de chaleur latente dans la vapeur d'eau. La question de la différence possible de température entre les deux hémisphères doit tenir compte de ces diverses sources de réchauffement, et aussi des pouvoirs émissifs de l'eau et de la terre; cette question est manifestement très complexe et sa discussion ne peut pas trouver place ici.