

De l'altération des images par réflexion sur la surface des eaux

Autor(en): **Dufour, C.**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **13 (1874-1875)**

Heft 73

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-258095>

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.

DE L'ALTÉRATION DES IMAGES PAR REFLEXION
SUR LA SURFACE DES EAUX.

Par

Ch. DUFOUR, Professeur a Morges.

En 1854 et en 1855, nous avons publié, mon frère L. Dufour et moi, différents travaux sur les mirages du lac Léman. (Voir les *Bulletins de la Société vaudoise des Sciences Naturelles*, Tome 4, pages 129 et 388, et Tome 5, page, 26.)

Ces mirages sont plus fréquents qu'on ne le suppose, cependant j'ai souvent rencontré des personnes qui avaient grande envie de les voir et qui n'avaient jamais pu y parvenir. Or j'ai pu m'assurer que ces personnes prenaient pour une réflexion sur l'eau ce qui était réellement un mirage.

Dans le désert on fait attention au mirage parce que l'on n'est pas habitué à voir des images sur le sable. Mais sur le lac, le même phénomène ne frappe pas parce qu'on lui attribue une cause fort différente. Je pourrais citer diverses circonstances où le lac Léman était agité par le vent ou par la bise; et cependant des personnes intelligentes assureraient qu'en Savoie le lac était parfaitement calme, parce que l'on voyait les maisons réfléchies à la surface de

l'eau. Or ce n'était là qu'un mirage, ce qui du reste était confirmé plus tard quand on apprenait que le lac était aussi agité sur la côte de Savoie que sur la côte Suisse. Et en pareille circonstance toute image par réflexion est impossible, car pour qu'elle ait lieu, il faut que le lac soit parfaitement calme ; dès que l'eau est un peu frémissante aucune image ne se produit par la réflexion de la lumière à sa surface.

En définitive, quand l'œil est peu élevé au-dessus de l'eau, et que l'on regarde des objets éloignés qui sont aussi à une hauteur peu considérable, on peut être certain que si l'on voit une image de ces objets c'est un mirage et non pas une réflexion sur l'eau ; car dans ces conditions là une image nette dans l'eau est à peu près impossible. Et si elle avait lieu, à cause de la rondeur de la terre, ce serait une image tellement déprimée dans le sens vertical qu'elle serait à peu près méconnaissable ; c'est ce que je me propose de développer ici.

En effet, la surface d'un lac n'est pas un plan, c'est une partie de la surface de la terre, par conséquent c'est un miroir convexe ; et si le bassin a quelques kilomètres d'étendue la convexité de ce bassin est assez prononcée pour qu'elle altère en certains cas d'une manière très notable l'apparence des images qui peuvent s'y former.

En effet, soit c le centre de la terre, et co ou co' son rayon, B la position du point dont on veut rechercher l'image, A celle de l'œil, et S le point de la surface de l'eau où se fait la réflexion.

Pour la question qui nous occupe, il faut trouver d'abord quelle est la position de ce point S . Dans ce but supposons le problème résolu, menons par ce point la

ligne MN tangente à l'arc OO', soit N le point où cette tangente coupe la verticale AO menée par le point A; et soit M le point où elle coupe la verticale BO' menée par le point B. Désignons par h la ligne AO, c'est la hauteur de l'œil au-dessus de la surface de l'eau, par h' la ligne BO' c'est la hauteur au-dessus du même niveau de l'objet que l'on regarde. Désignons par r le rayon de la terre, et par d la distance OO' qui sépare les pieds des deux verticales, cette distance est sensiblement égale à la longueur de la tangente MN. Désignons par x la longueur NO, par x' la longueur MO', par y la ligne SN qui est une partie de la tangente, et par y' la ligne SM qui en est une seconde partie. Les inconnues sont x , x' , y et y' , on peut les trouver par la combinaison des 4 équations suivantes :

$$y^2 = 2rx \quad (1)$$

$$y'^2 = 2rx' \quad (2)$$

$$y + y' = d \quad (3)$$

$$\frac{y}{y'} = \frac{h - x}{h' - x'} \quad (4)$$

Les deux premières sont fondées sur la propriété de la tangente d'être moyenne proportionnelle entre la sécante et sa partie extérieure. La 3^e provient de ce que la distance qui sépare les points O et O' peut être considérée comme la somme des tangentes. La 4^e est basée sur ce que les triangles ANS et SMB sont à *peu près* semblables. Mais dans un calcul tel que celui-ci, il faut bien peser les conséquences d'un à *peu près*, car pour certaines valeurs qui y figurent une altération en apparence insignifiante peut modifier à un haut degré le résultat que l'on cherche.

Or ces deux triangles seraient rigoureusement semblables si la ligne AN était perpendiculaire à NS, et BM perpendiculaire à SM, car dans tous les cas l'angle $ASN = BSM$ puisque l'angle d'incidence égale l'angle de réflexion. Mais dès que les hauteurs AO et BO' sont très petites relativement aux dimensions du cercle, et que la distance d elle-même n'est qu'une fraction bien faible de la circonférence de la terre comme dans l'exemple que nous considérons, il est évident que si du point A on abaisse une perpendiculaire sur la tangente SN, cette perpendiculaire différera fort peu de la verticale AN. Le même raisonnement peut être fait pour le point B. On voit donc que les côtés de ces triangles sont à peu près égaux à ce qu'ils seraient si les triangles étaient semblables, et l'équation (4) est ainsi justifiée.

En effectuant les éliminations convenables on arrive à l'équation :

$$y'^3 - \frac{3}{2} dy'^2 - y' \left(h'r + hr - \frac{d^2}{2} \right) + dh'r = 0.$$

Mais pour faire disparaître le terme en y'^2 , il faut dans le cas actuel remplacer y' par $z + \frac{d}{2}$, ce qui revient à considérer comme nouvelle inconnue la distance qu'il y a depuis le milieu de l'arc OO' jusqu'au point où se fait l'image, alors l'équation précédente devient :

$$z^3 - z \left\{ r(h + h') + \frac{d^2}{4} \right\} + rd \left(\frac{h' - h}{2} \right) = 0.$$

Comme exemple, supposons que nous sommes à Morges, l'œil à 20 mètres au-dessus du lac, et que nous regardons

à la distance de 35 kilomètres un clocher haut de 60 mètres, dont le sommet est à 100 mètres et la base à 40 mètres au-dessus du lac. Comptons que le rayon de la terre est de 6366 kilomètres.

Recherchons d'abord où se fait sur l'eau l'image du sommet du clocher. Ici en prenant le kilomètre pour unité nous avons :

$h' = 0,1$ $h = 0,02$ $d = 35$ $r = 6366$, on trouve alors que $z = 9010$ mètres. L'image se fait donc à 9010 mètres du milieu de l'arc OO' , c'est-à-dire à 8490 mètres de Morges ou à 26510 mètres du clocher.

Pour la base nous avons :

$h' = 0,04$ $h = 0,02$ $d = 35$ $r = 6366$ on trouve alors que son image se fait à 14210,8 mètres de Morges. Donc l'image de ce clocher occuperait sur le lac une longueur de 5720,8 mètres, c'est-à-dire un arc de $3'5''$.

Pour la vérification, on peut calculer la valeur des angles ASN et BSM et l'on trouve qu'ils sont égaux.

Or ce clocher vu de Morges paraîtrait sous un angle de $5'54''$ et son image seulement sous un angle de $1'43''$, c'est-à-dire qu'elle serait à peu près $3\frac{1}{2}$ fois plus faible ; ce serait assez pour la rendre méconnaissable, abstraction faite de la difficulté d'avoir le lac calme comme une glace sur une étendue de plus de 5 kilomètres.

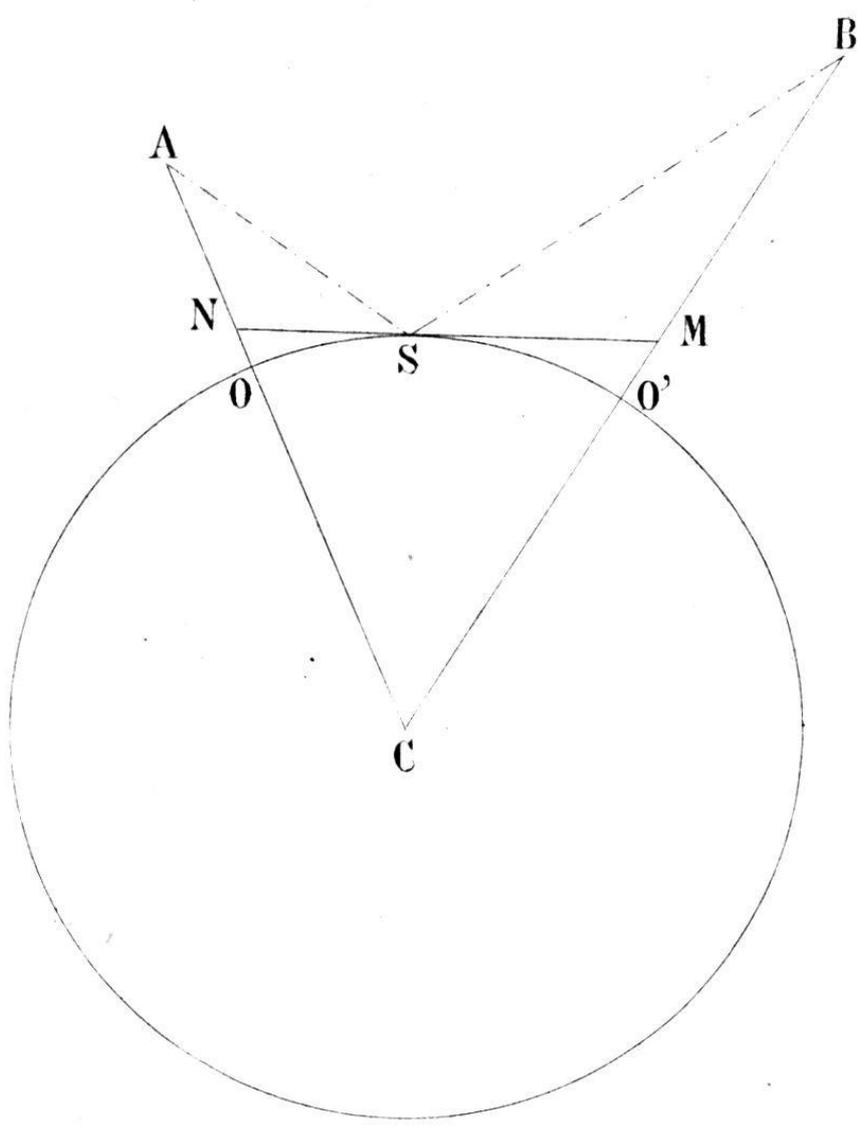
Et sans répéter les calculs trigonométriques qui ont donné $1'43''$ pour la grandeur de l'image vue dans l'eau, on comprend qu'elle doit paraître fort déprimée dès qu'elle occupe sur la terre un arc de $3'5''$; l'angle des tangentes menée à ses points extrêmes fait comprendre le raccourcissement apparent de cette image.

On voit par là que jamais on ne peut voir sur l'eau l'i-

mage d'un objet qui se trouve dans des conditions analogues. Les peintres en ont bien le sentiment, car lorsqu'ils ont à représenter ainsi un objet éloigné que l'on voit par un rayon à peu près horizontal, par exemple le soleil couchant, ils se gardent bien de faire une image pareille à l'objet lui-même comme cela arriverait dans d'autres conditions, ils représentent le soleil par une tache brillante de même largeur que lui, mais beaucoup moins longue dans la direction de l'œil; ou bien par une longue traînée de feu, si la surface réfléchissante, au lieu d'être parfaitement calme, est ridée par de petites vagues comme cela arrive dans la grande majorité des cas.

Les lignes précédentes étaient écrites, et sur la foi des calculs je croyais qu'il serait à peu près impossible de voir ainsi l'image d'un objet lorsque le rayon visuel raserait à peu près la surface de l'eau, quand le 2 avril 1873, vers les 2 heures après midi, mon ami M. le Docteur Fr. Forel vint m'annoncer que de telles images étaient cependant visibles. En effet, depuis Morges, on voyait en ce moment du côté de Villeneuve quelques voiles de bateaux dont l'image dans le lac donnait en tous points raison à la théorie que j'ai exposée plus haut. Ces images étaient tellement déformées dans le sens vertical que l'on n'aurait pas même pensé que c'était là l'image des voiles, si les calculs faits précédemment ne nous avaient appris qu'en pareilles conditions ces images devaient avoir cette forme.

Du reste, ce jour-là, le lac était d'une tranquillité exceptionnelle. A Morges il était déjà fort calme, mais au moment de l'observation un bateau à vapeur devait être en course entre Vevey et Ouchy, plus tard il touchait



Morges et nous nous informions auprès du capitaine de l'état du lac dans sa partie orientale, il nous dit que l'eau y était d'un calme absolu, que rarement cette surface avait au même degré l'aspect d'un miroir.

En quelques minutes nous vîmes plusieurs images qui étaient curieuses à cause de leur déformation dans le sens vertical. Ainsi sur un bateau plus rapproché de Morges il y avait quelques hommes qui marchaient; or dans l'eau leur image était carrée; d'autres même placées dans des conditions différentes paraissaient plus larges que hautes, de manière qu'au premier abord on aurait pu penser que c'était là l'image d'un chien.

Cette observation imprévue confirme tout-à-fait le résultat des calculs exposés ci-dessus sur la dépression des images lorsque le rayon visuel rase la surface de l'eau.

Et même on peut dire que c'est là une nouvelle preuve de la rondeur de la terre.

