Les seiches, vagues d'oscillation fixe des lacs

Autor(en): **Forel, F.-A.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **61 (1878)**

PDF erstellt am: **27.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-90042

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

II.

Les seiches, vagues d'oscillation fixe des lacs.*)

IIe discours

par

le Dr **F.-A. Forel,**
professeur à l'Académie de Lausanne.

J'ai déjà développé devant la Société helvétique des sciences naturelles, dans sa session d'Andermatt, l'hypothèse que les *seiches des lacs* ne sont pas autre chose qu'un mouvement très simple de balancement de l'eau, du type de l'oscillation fixe uninodale. Depuis cette époque nos études sur ce sujet ont avancé et pris de la précision. En mars 1876, j'ai construit mon limnimètre enregistreur

---

*) Littérature. *Vaucher.* Mémoire sur les seiches. Mém. soc. phys. de Genève. VI, 35.

F.-A. Forel. Première étude sur les seiches, Lausanne 1873. — Deuxième étude, 1875. Bull. soc. vaud. sc. nat. XII, 213; XIII, 510. — Les seiches, vagues d'oscillation fixe des lacs, premier discours. Actes soc. helv. sc. nat. Andermatt, 1875. — Le limnimètre enregistreur de Morges; Arch. des sc. ph. et nat. Genève 1876. N. P. LVI, 305. — La formule des seiches; Arch. 1876. LVII, 278. — Essai monographique sur les seiches du Léman; Arch. 1877. LIX, 50. — Les causes des seiches; Arch. 1878. LXIII, 113 et 189, etc.

de Morges; en juin 1877, M. Ph. Plantamour à fait établir un appareil analogue en sa campagne de Sécheron, près Genève; les tracés continus de ces deux instruments automates nous ont fourni un riche matériel de recherches et de comparaisons, et grâce à eux nous pouvons pénétrer un peu plus avant dans la connaissance de l'intéressant phénomène qui nous occupe.

Dans mon discours d'aujourd'hui je commencerai par résumer les preuves principales qui justifient la théorie nouvelle des seiches, puis j'aborderai plus spécialement l'étude des causes du phénomène.

Le balancement de l'eau dans un bassin fermé, l'oscillation fixe uninodale, est un mouvement pendulaire simple: la masse entière de l'eau se déplace en oscillant alternativement de chaque côté d'un axe qui la coupe en deux moitiés. Sur cet axe médian, l'eau subit uniquement un mouvement oscillatoire horizontal; des deux côtés de l'axe, le mouvement se complique, et l'eau, tantôt amenée en excès, tantôt enlevée par le balancement pendulaire, subit, outre le déplacement horizontal, des variations de hauteur; il en résulte que, dans les deux moitiés du lac, (que, d'après la nomenclature de l'oscillation fixe, on peut appeler des *ventres* d'oscillation, séparés par une *ligne nodale*) la surface de l'eau présente des dénivellations rythmiques, tantôt s'élevant au-dessus, tantôt s'abaissant au-dessous du niveau moyen.

Le mouvement de l'eau a son maximum, dans le sens horizontal suivant la ligne nodale, dans le sens vertical aux deux extrémités du diamètre perpendiculaire à la ligne nodale, aux ventres de l'oscillation; le mouvement de l'eau a une valeur nulle dans le sens horizontal aux ventres d'oscillation, dans le sens vertical sur la ligne nodale.

Dans les deux ventres d'oscillation la direction du mouvement vertical est opposée, c'est-à-dire que l'eau s'élève dans une des moitiés du bassin pendant qu'elle s'abaisse dans l'autre et vice-versâ.

Ces faits caractéristiques de l'oscillation de balancement peuvent se reconnaître dans les seiches des lacs; et ils nous permettent de démontrer l'identité des deux phénomènes.

Nous les avons étudiés à l'aide de deux instruments:

1° Le *Plémyramètre,* appareil à niveau d'eau très sensible, qui permet de constater le sens et la direction des oscillations en variation de hauteur de la surface de l'eau; cet appareil est portatif et permet facilement l'étude des seiches dans diverses stations et dans des lacs différents.

2° Le *Limnimètre enregistreur,* appareil automate qui inscrit d'une manière continue, sur une feuille de papier sans fin, les variations de hauteur subies par un flotteur établi dans un puits à l'abri des vagues.

Ces deux instruments nous permettent d'étudier une seule chose, à savoir les oscillations ou variations de hauteur de l'eau dans la station où ils sont établis; ils ne nous montrent rien des dénivellations des autres parties du lac, ni des déplacements dans le sens horizontal que peut subir l'eau. Ce ne sont donc que quelques-uns des traits seulement du mouvement pendulaire des seiches que nous sommes capables d'étudier actuellement; mais ces traits sont tellement caractéristiques et démonstratifs que je me sens autorisé à conclure avec précision et fermeté.

Les matériaux dont je dispose me permettent d'établir les faits suivants:

I. Dans les seiches, les variations de hauteur de l'eau présentent toujours le caractère d'une oscillation régulière; le rythme de cette oscillation est toujours le même dans la même station: Ainsi à Morges la durée des seiches est toujours de 10 minutes, à Genève de 73 minutes.

II. Le rythme de l'oscillation, autrement dit la durée des seiches, est le même aux deux extrémités du même diamètre du lac: Ainsi à Villeneuve comme à Genève la durée des seiches est de 73 minutes, à Amphion comme à Morges, elle est de 10 minutes. Cette durée est différente suivant que l'on considère des stations situées sur le grand ou sur le petit diamètre du lac; nous avons donc à distinguer dans un même lac les seiches longitudinales et les seiches transversales.

Dans le lac Léman les seiches longitudinales, oscillant de Villeneuve à Genève, ont une durée de 73 minutes, les seiches transversales, oscillant de Morges à Amphion, de la côte suisse à la côte de Savoie, ont une durée de 10 minutes.

III. Dans les deux moitiés d'un même lac, de chaque côté de la ligne nodale, le mouvement vertical des seiches est simultané, mais de direction opposée, c'est-à-dire que l'eau monte à l'une des extrémités du lac pendant qu'elle baisse à l'autre. C'est ce que nous avons démontré par des observations plémyramétriques sur les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel, à Yverdon et à Préfargier. Nous pouvons faire cette même démonstration, à l'aide des tracés de nos limnimètres enregistreurs de Morges et de Genève, pour les seiches longitudinales du Léman; la ligne nodale de ces seiches est en effet située entre Morges et Genève, et par conséquent les mouvements de l'eau sont opposés de direction dans ces deux stations.

IV. L'amplitude du mouvement vertical des seiches a son maximum aux ventres d'oscillation; elle est nulle suivant la ligne nodale. C'est ce que nous pouvons vérifier sur les tracés des enregistreurs du Léman. En effet, la station de Genève étant située à l'extrémité de la longueur du lac, elle est sur l'un des ventres d'oscillation des seiches longitudinales; la station de Morges, étant située près du milieu de la longueur, n'est pas loin de la ligne nodale. Il en résulte que les seiches longitudinales qui sont énormes à Genève sont presque nulles à Morges, et que dans cette dernière station, on ne les reconnaît au milieu des autres oscillationsque dans des cas exceptionnels. L'amplitude des seiches longitudinales est à Genève environ dix fois plus forte qu'à Morges.

V. Plus le lac est grand, plus grande est la durée des seiches; — dans le même lac les seiches longitudinales oscillant suivant le grand diamètre ont une durée plus forte que les seiches transversales oscillant suivant le petit diamètre; — enfin dans des lacs de même longueur a durée est d'autant plus grande que le lac est moins profond.

Ces faits, qui résultent de l'observation directe des seiches, dans les différents lacs de la Suisse, correspondent parfaitement avec ce que nous a appris l'étude de l'oscillation de balancement, dans des bassins de dimensions variables; la durée de l'oscillation fixe augmente avec la longueur du vase, et dans des bassins peu profonds diminue quand la profondeur de l'eau augmente.

VI. Une formule théorique, déduite par Rod. Merian de Bâle, en 1828, des équations qui expriment l'état d'équilibre d'un élément liquide contenu dans un vase, peut être simplifiée et ramenée à la forme:

$$t = \frac{l}{\sqrt{gh}}$$

t exprimant la durée d'une demi-oscillation fixe uninodale,

l la longueur du bassin,

h sa profondeur moyenne.

Cette formule s'applique parfaitement aux seiches des lacs, et les valeurs que nous donne le calcul correspondent d'une manière frappante avec les chiffres que l'observation directe des seiches des lacs suisses nous à fournis.

Quant à la durée relative des seiches des divers lacs, elle peut d'après cette formule, confirmée par l'expérience, s'exprimer ainsi : « La durée des seiches est directement proportionnelle à la longueur de la section de lac suivant laquelle a lieu l'oscillation, et inversément proportionnelle à la racine carrée de la profondeur moyenne ».

VII. Enfin les allures même des seiches présentent tous les caractères des mouvements d'oscillation fixe déterminés par une impulsion unique. Comme dans l'oscillation du pendule, comme dans la vibration d'une corde tendue ou d'une cloche, le balancement de l'eau va en décroissant régulièrement d'amplitude jusqu'à ce que le mouvement soit entièrement éteint ; les tracés des limnimètres enregistreurs montrent que les seiches, elles aussi, se présentent sous la forme de séries d'oscillations isochrones, dont la première a l'amplitude maximale, et qui vont progressivement en diminuant jusqu'à la disparition par atténuation extrême.

Ces séries de seiches peuvent empiéter les unes sur les autres, et les oscillations interférer entr'elles, ou s'additionner, ou s'annuler ; il en résulte, comme nous

le montrent les tracés des limnimètres, un degré très variable dans la complication des ondulations des seiches.

La durée d'une même série de seiches peut être fort considérable; j'ai vu, sous l'action d'une seule impulsion, des séries de seiches transversales du Léman se dessiner encore pendant 6 ou 8 heures, et celle des seiches longitudinales pendant 2 et même 4 jours, avant que leurs oscillations, extrêmement atténuées, aient disparu sous de nouvelles séries de seiches.

Tous ces faits concordent ensemble pour prouver que le mouvement des seiches qui se traduit au bord du lac par des oscillations rythmiques du niveau de l'eau, est une des manifestations d'un mouvement de balancement de la masse générale de l'eau, mouvement d'oscillation fixe uninodale.

Quelques mots sur la fréquence des seiches.

Bien loin d'être un phénomène aussi rare et exceptionnel qu'on la cru jusqu'à présent, les seiches sont au contraire presque constamment reconnaissables; le fait rare c'est le calme plat au point de vue des seiches. Le plus souvent le mouvement rythmique du balancement des lacs est visible sur les tracés des enregistreurs, et je puis donner une idée de leur importance en disant que les oscillations des seiches ont, en moyenne, à Morges une amplitude de quelques millimètres, à Genève une amplitude de quelques centimètres.

Quant au maximum d'amplitude j'en donnerai une idée par les chiffres suivants: dans nos deux années d'observation avec les limnimètres enregistreurs nous avons vu à Morges des seiches transversales de 12 centimètres, à Genève des seiches longitudinales de 43 centimètres. D'un autre côté l'histoire nous fait connaître des

seiches ayant dépassé à Genève des amplitudes de $1^m.50$ et même $1^m.87$ (3 octobre 1841).

En combinant ces deux faits, existence presque continuelle des seiches, et durée des séries de seiches, qui pour les transversales du Léman ne me semble pas dépasser six ou huit heures, j'arrive à la notion que les impulsions qui déterminent ces séries de seiches doivent être relativement fréquentes; quand elles ne sont pas séparées par des calmes plat, ces impulsions doivent se succéder à des intervalles de moins de six ou huit heures.

Abordons maintenant la question de la cause des seiches.

Les seiches des lacs n'étant pas autre chose qu'une oscillation fixe de l'eau, demandons-nous d'abord comment, dans un bassin quelconque, se détermine cette forme particulière de mouvement d'un liquide. Je puis mettre en oscillation de balancement l'eau d'un bassin, ou bien en agitant d'une manière convenable l'eau contenue dans le vase, ou bien en agitant le vase qui contient l'eau.

Examinons d'abord ce dernier cas qui est le plus simple et qui dans le phénomène des seiches est représenté par les secousses de tremblements de terre.

Que des tremblements de terre puissent transmettre leur mouvement à l'eau des mers, c'est ce que montre l'histoire des ras de marée accompagnant les phénomènes seïsmiques (tremblements de terre du Callao, 1586, Port-royal de Jamaïque 1692, Messine 1763, Arica 1868, Iquique 1877). Que ces secousses puissent être apréciables sur les lacs c'est ce que nous apprend entr'autres le tremblement de 1755, dit de Lisbonne, qui a déterminé dans tous les lacs de Suisse et d'Allemagne des mouvements

oscillatoires apréciables. Les tremblements de terre étant capables d'agiter l'eau des lacs, peuvent donc être la cause des seiches.

Les seiches sont-elles ordinairement causées par des tremblements de terre? — La question peut se poser. En effet nous venons de voir que les impulsions des seiches sont très fréquentes; d'une autre part les travaux des observateurs italiens et les études de MM. d'Abbadie et Ph. Plantamour montrent la fréquence, très grande aussi, des secousses de la masse terrestre. Les tremblements de terre microseïsmiques pourraient donc être la cause des oscillations très faibles des lacs qui existent presque constamment.

Pour répondre à cette question laissons de côté les cas où les mouvements sont très faibles et échappent presque à l'observation, et considérons les cas extrêmes des très grandes seiches et des très forts tremblements de terre.

Or, d'un côté, les grandes seiches historiques de Genève (16 septembre 1600, 5 pieds d'amplitude, 3 août 1763, 4 pieds d'amplitude, 2 et 3 octobre 1841, $1^{m}.87$), pas plus que les seiches extraordinaires dont nous avons pu mesurer l'importance sur les tracés de nos limnimètres (22 août 1876, Morges; 21 août 1877, Morges; 25 novembre 1877, Genève; 26 et 30 août 1878, Morges; 29 août 1877, Genève) n'ont, ni les unes, ni les autres, coïncidé avec des secousses de tremblements de terre connues. D'un autre côté, onze secousses de tremblement de terre ont été notées dans la Suisse occidentale depuis que nos enregistreurs fonctionnent, et aucune d'elles n'a été la cause de seiches apréciables; dans aucun cas une série spéciale de seiches n'a commencé au moment de la secousse.

De ces faits je conclurai que si les tremblements de terre peuvent être la cause de seiches, il n'y a pas de rapports nécessaires entre les deux ordres de phénomènes; qu'il peut y avoir seiches sans tremblements de terre, et tremblements de terre sans seiches; enfin que les cas de seiches causées par des tremblements de terre sont relativement rares.

Si ce n'est pas dans des secousses des parois des bassins que nous pouvons chercher les causes ordinaires des seiches, ce sera donc dans des secousses portées sur l'eau elle-même des lacs.

Dans quelles circonstances apparaissent ordinairement les seiches? Pour répondre à cette question et rechercher ainsi les causes probables des seiches, interrogeons les tracés de nos limnimètres. Voici les faits principaux que nous y constatons :

Les seiches sont faibles par le beau temps; elles sont fortes par le mauvais temps; les très fortes seiches coïncident toujours avec un orage; il y a parfois orage dans la vallée sans qu'il y ait seiches extraordinaires sur le lac; il y a enfin parfois d'assez fortes seiches sans qu'il y ait orage.

Je résumerai ces faits en disant que les causes normales des seiches doivent être cherchées dans les perturbations de l'atmosphère.

En me rapportant à la nature même des seiches, oscillation de balancement de l'eau, je dirai : Toute perturbation de l'atmosphère, qui détermine une rupture rapide de l'état d'équilibre de l'eau d'un lac est capable de produire l'impulsion génératrice d'une série de seiches. La notion de rapidité de l'action perturbatrice étant relative à la durée de l'oscillation, le raisonnement montre que la durée de l'impulsion capable de produire des

seiches dans une section donnée de lac, ne doit pas sensiblement dépasser la durée d'une demi-seiche.

Les perturbations de l'atmosphère capables de déterminer des dénivellations rapides sur les lacs, et par conséquent causes possibles des seiches, sont entr'autres :

1° Des variations locales de la pression atmosphérique.

2° Des coups de vent frappant obliquement la surface du lac.

3° Les orages, et plus précisément, le coup de vent vertical descendant de certains orages.

4° Les ouragans et les trombes.

5° L'interruption d'une dénivellation temporaire continue par la cessation subite du vent qui la causait.

En dehors de ces causes que l'on peut appeler normales, il en est d'autres possibles qui sont purement accidentelles, comme le vent d'une avalanche de neige, ou d'un éboulement de montagne, qui auraient lieu près d'un lac, ou encore l'éboulement d'une montagne dans le lac lui-même. Les faits de l'éboulement du Rossberg en 1806, et les ravages bien connus des avalanches dans les vallées des Alpes prouvent assez la puissance terrible de ces actions perturbatrices.

D'après l'expérience acquise, les plus fréquentes et les plus évidentes de ces causes des seiches sont les variations de la pression atmosphérique et l'orage ; les plus puissantes sont l'orage, et probablement les tremblements de terre, les avalanches et les éboulements de montagnes. (Eboulement du Tauredunum, en 563 p. Chr. et ses effets sur le lac Léman.)

Les causes des seiches sont donc nombreuses et diverses. Toutes les actions que je viens d'énumérer, et d'autres encore peut-être, portées sur l'eau des lacs

peuvent déterminer le mouvement de balancement des seiches. Mais je dois ajouter qu'elles ne le déterminent pas nécessairement et en tous cas; ce n'est que dans certaines conditions convenables de lieu d'action, d'intensité, de direction et de rythme, qu'il en résulte l'impulsion génératrice d'une série de seiches.

En résumé, nos dernières études ont confirmé nos théories et précisé nos connaissances sur les seiches. Tous les faits concordent à prouver que ces légères oscillations de la surface de l'eau, qui passent le plus souvent inaperçues au milieu des mouvements plus apparents des vagues ordinaires du vent, sont la manifestation d'un balancement rythmique du lac dans son ensemble; que sous des impulsions diverses la masse entière du lac est capable d'entrer en oscillation pendulaire et de balancer, des deux côtés d'une ligne nodale médiane, avec un mouvement parfaitement régulier et suivant un rythme déterminé par les dimensions du bassin.

Ces oscillations, gigantesques dans leur étendue (les seiches longitudinales du Léman ont une longueur d'onde de 72 kilomètres) quoique bien faibles dans leur amplitude, montrent dans l'eau des lacs une sensibilité mécanique admirable; sous des impulsions spéciales, nombreuses, fréquentes et diverses, l'eau réagit avec une netteté et une délicatesse qui dépassent celles de la plupart de nos moyens d'investigation; et en définitive des limnimètres suffisamment sensibles sont capables de nous fournir ainsi, d'une manière tout-à-fait inattendue, des notions nouvelles et très précises sur l'état des perturbations atmosphériques.