

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 13 (1874-1875)
Heft: 74

Artikel: Deuxième étude sur les seiches du Lac Léman
Autor: Forel, F.-A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-258106>

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: 11.01.2026

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

DEUXIÈME ÉTUDE

SUR LES

SEICHES DU LAC LÉMAN

par

F.-A. FOREL,

Professeur à l'Académie de Lausanne.



Dans la *première étude sur les seiches du lac Léman* ⁽¹⁾ que j'ai publiée en 1873, je suis arrivé aux faits suivants :

1^o J'ai constaté que le phénomène des seiches consiste en un mouvement alternatif et répété d'élévation et d'abaissement du niveau de l'eau du lac dans le lieu de l'observation.

2^o J'ai constaté que la hauteur de la dénivellation de l'eau, soit l'amplitude des seiches, est très variable. Très forte dans certains cas exceptionnels, ayant dépassé à Genève, le 3 octobre 1841, une amplitude de 2^m,15, elle est ordinairement très faible, atteignant à peine quelques centimètres ou quelques millimètres.

3^o J'ai constaté que la durée des seiches varie d'une oscillation à l'autre, d'un jour à l'autre ⁽²⁾ et d'une localité à l'autre. Le mouvement est plus lent à Genève qu'à Morges.

(1) Bull. Soc. Vaudoise Sc. nat. XII, p. 213 sq.

(2) Pour ces variations dans la durée des seiches dans la même localité voir plus bas.

4^o Les seiches observées simultanément à Genève et à Morges, le 16 novembre 1854, ont présenté une durée fort différente, le mouvement étant beaucoup plus lent à Genève qu'à Morges.

5^o En étudiant les détails intimes du phénomène, j'ai été amené à éliminer, pour le mouvement des seiches, l'idée de vagues d'oscillation progressive, et j'ai été conduit à en faire des *vagues d'oscillation fixe* dans la forme d'*oscillation de balancement* ⁽¹⁾.

6^o Dans cette hypothèse, le mouvement d'oscillation de l'eau s'établirait suivant l'un ou l'autre des diamètres du lac, dans le lac Léman de Genève à Villeneuve ⁽²⁾, suivant le grand diamètre du lac, et de Morges à Evian, suivant le petit diamètre.

7^o En comparant les observations de seiches dont je disposais, avec les lois de l'oscillation de balancement, telles que j'ai pu les déterminer à l'aide d'un petit bassin à expériences, j'ai constaté que les faits présentés par les seiches correspondent suffisamment à cette hypothèse.

Je terminais en énumérant les observations que j'estimais devoir être faites pour l'étude ultérieure des seiches. J'ai pu en mener à bonne fin quelques-unes, et leur résultat confirme assez heureusement ma supposition que les seiches sont des vagues de balancement, pour que je publie en détail ces expériences dans cette *seconde étude*.

Supposons mon hypothèse démontrée. Je serai alors autorisé à faire les définitions suivantes. J'appelle :

(1) Le mouvement de l'eau qui balance dans une cuvette.

(2) Voir plus bas pour les oscillations établies suivant le grand diamètre du lac Léman (seiches longitudinales).

Seiche, la vague d'oscillation fixe établie suivant un diamètre quelconque du lac⁽¹⁾.

Seiche longitudinale, la seiche oscillant suivant le grand diamètre du lac.

Seiche transversale, la seiche oscillant suivant le petit diamètre du lac.

Seiche haute et *seiche basse*, en analogie avec la marée de l'Océan, la moitié de la seiche pendant laquelle le niveau de l'eau est au-dessus ou au-dessous du niveau moyen⁽²⁾.

Seiche ascendante et *seiche descendante*, en analogie avec les vagues du vent, la moitié de la seiche pendant laquelle le niveau du lac monte ou descend.

(¹) Je dois faire remarquer le changement que j'apporte ici dans la signification du mot *seiche*. Jusqu'à présent le mot *seiche* a été employé d'une manière très peu précise pour désigner le phénomène en général. Quand un batelier du lac Léman dit : « il y a seiche », cela signifie que les mouvements d'oscillation du niveau du lac sont apparents et visibles. Quand Vaucher nous parlait de « la seiche du 4 décembre 1802 », il décrivait la série de mouvements d'élévation et d'abaissement du niveau du lac qu'il observait ce jour-là. Je démontrerai plus bas que les seiches ont lieu constamment et sans interruption. Je suis ainsi forcé de changer la signification du mot et au lieu d'un sens général et indéterminé je lui donne une signification précise; j'en fait le parallèle du mot vague. Une *vague* du lac restera donc une ondulation spéciale du mouvement d'oscillation progressive, une *seiche* sera une des ondulations, une des vagues du mouvement d'oscillation fixe.

(²) J'appelle dans ces études niveau moyen du lac, sans autre désignation, le niveau moyen au jour de l'observation, c'est à-dire la hauteur intermédiaire et moyenne entre les maximums et les minimums d'amplitude des seiches. Le terme de niveau moyen quand il se rapporte à des seiches n'a rien à faire avec le niveau moyen général du lac, intermédiaire et moyen entre les hautes eaux de l'été et les basses eaux de l'hiver.

I

Du Plémyramètre, appareil servant à mesurer la durée des seiches.

Dans mes recherches de cette année, je ne me suis occupé que de la durée des seiches et très peu de leur amplitude. Je voulais, en effet, étudier le mouvement de dénivellation de l'eau en lui-même et en chercher les lois, vérifier si, comme je le supposais, la seiche est bien une vague de balancement, me rendre compte de la direction et des diamètres suivant lesquels elle oscille, déterminer si possible pour chaque lac et pour chaque point de la rive le rythme normal des seiches. Pour tous ces points de vue la durée des seiches était seule en question.

Quand plus tard je voudrai revenir à la cause même des seiches, quand je voudrai vérifier l'hypothèse de Vaucher, qui attribue les seiches ordinaires aux variations de la pression barométrique, quand je voudrai prouver que les seiches extraordinaires qui élèvent de plusieurs pieds le niveau de l'eau sont probablement dues à des tremblements de terre (Guillemin, Forel), quand je chercherai à démontrer que l'action du vent peut même être la cause de certaines de ces oscillations, comme nous l'avons vu dans le port de Morges⁽¹⁾, alors j'aurai à m'adresser à l'amplitude des seiches; j'étudierai les seiches en comparant la hauteur de leur dénivellation.

Mais pour le moment, je ne m'attaque qu'à leur durée.

Il s'agissait avant tout de construire un appareil pour

(1) I^{re} étude, p. 23.

mesurer la durée des seiches, suffisamment sensible pour enregistrer les plus petites seiches dont l'amplitude n'atteint souvent pas même le millimètre, un appareil capable en même temps de noter les seiches les plus fortes et les plus amples, un appareil enfin disposé de telle sorte qu'il ne se laissât pas influencer par les vagues du vent ; l'appareil devait encore être assez transportable pour que je pusse facilement aller répéter mes observations sur les diverses rives de notre lac, et même sur d'autres lacs. L'appareil, que j'appelle *Plémyramètre* (de $\pi\lambda\eta\mu\rho\alpha$, marée), répond parfaitement à ces trois desiderata.

J'établis dans la grève un bassin de terre ou de métal, A. fig. 10, de telle sorte que le fond en soit à deux ou trois centimètres au-dessous du niveau moyen du lac NN' ; si le lac est agité, je protège mon bassin contre les vagues par une digue suffisante en pierres. Je mets le bassin en communication avec le lac par un siphon en tube de caoutchouc *a a a a* ; ce siphon une fois amorcé, il se détermine des courants d'entrée du lac dans le bassin quand le niveau du lac est plus élevé, de sortie du bassin dans le lac quand le niveau du lac est plus bas que l'eau du bassin. Le mouvement d'élévation et d'abaissement du niveau de l'eau des seiches, se traduira donc par un mouvement alternatif d'entrée et de sortie de l'eau. Pour rendre visibles ces courants, j'intercale sur la longueur du siphon de caoutchouc et aussi près que possible du bassin, un tube de verre de même calibre *L B*, et dans ce tube je laisse circuler un flotteur *f* ; aux deux extrémités du tube de verre, de petites spirales en fil de laiton, *s s*, empêchent le flotteur d'entrer dans le tube de caoutchouc. Ce flotteur, qui est une petite sphère en liège, allourdi par un peu de plomb jusqu'à la densité exacte

de l'eau, indique par ses déplacements les mouvements les plus faibles des courants d'entrée ou de sortie de l'eau.

Les dimensions de l'appareil que j'ai employé avec succès soit dans le lac Léman, soit dans d'autres lacs suisses sont :

Bassin de zinc. Longueur 37 centimètres, largeur 25, profondeur 12.

Longueur totale du siphon, 3 mètres.

Longueur du tube de verre, 30 centimètres.

Calibre du siphon de caoutchouc et du tube de verre, 7 millimètres de diamètre.

Diamètre du flotteur, 6 $\frac{1}{2}$ millimètres.

Etudions maintenant le jeu de cet appareil et voyons s'il fonctionne à souhait.

Le tube de communication, le siphon qui réunit les deux nappes d'eau, tend à les mettre à l'état d'équilibre, et toute dénivellation de l'une des deux nappes détermine un courant qui corrigera cette différence de niveau. Il en résulte que le niveau du bassin tend sans cesse à suivre dans ses dénivellations le niveau du lac et qu'il s'établit dans le bassin des variations de niveau dans le même sens que celles du lac ; il en résulte, d'autre part, que la direction des courants, indiquée par le flotteur, nous montre laquelle des deux nappes d'eau est la plus élevée.

Mais le calibre du siphon étant fort petit par rapport à la surface du bassin, la lumière du tube étant du reste obstruée en grande partie par la sphère de liège du flotteur, il ne peut entrer qu'une petite quantité d'eau dans le bassin quand il en faudrait beaucoup pour rétablir l'état

d'équilibre. Il en résulte que le niveau de l'eau dans le bassin est relativement fixe; c'est un niveau constant par rapport au niveau variable du lac.

Je représenterai le fait dans ma fig. 11.

Soit $ABA'B'$ la courbe figurant le niveau du lac dans les différents temps de deux seiches successives. Soit a le moment où les deux nappes d'eau, celle du lac et celle du bassin de mon plémyramètre sont au même niveau; pendant tout le temps que la seiche sera haute, à savoir pendant la seconde moitié de la seiche ascendante AB et la première moitié de la seiche descendante BA' , en aBc , le niveau du lac étant plus élevé que celui du bassin, il s'établira dans le siphon un courant d'entrée qui relèvera le niveau de l'eau du bassin suivant la ligne $a c$. Pendant la seiche basse qui succédera, en $cA'a'$, au contraire le courant du siphon sera un courant de sortie qui abaissera légèrement le niveau de l'eau du bassin en ca' .

D'après cela, quand je vois le flotteur chassé contre l'arrêt B , du côté du bassin, je constate qu'il y a entrée de l'eau dans le bassin, que la seiche est haute. Quand le flotteur est du côté du lac, vers l'arrêt L , il y a seiche basse.

Je dis que la seiche haute ou basse est indiquée par la position du flotteur. Ce n'est pas parfaitement exact; en effet, nous avons vu qu'à chaque dénivellation du lac il entre ou sort une certaine quantité d'eau du bassin; que le niveau du bassin, quoique relativement fixe, oscille cependant autour du niveau moyen. Dans ma fig. 11, la ligne NN représente le niveau moyen, et par conséquent les points $ghg'h'$, où ce niveau coupe la courbe $ABA'B'$ indiquent les moments où la seiche devient haute ou basse. Or les temps marqués par le transport du flotteur du plé-

myramètre précèdent toujours de quelque chose ces moments.

Cette valeur *ag*, *ch*, etc., qu'il faut donc ajouter à l'heure indiquée par le plémyramètre, si l'on veut avoir le commencement exact de la seiche haute ou basse, cette valeur est-elle toujours la même ? Non.

D'une part, sa durée est commandée par la construction de l'appareil, par le jeu plus ou moins grand qui est laissé entre les parois du tube en verre du siphon et la sphère du flotteur. Moins il pourra s'écouler d'eau dans le siphon, plus le niveau du bassin sera constant, et plus petite sera cette valeur *ag*, *ch*.

D'une autre part, la durée de cette valeur dépend de l'amplitude des seiches. Si la dénivellation du lac est très forte, la différence de pression entre les deux colonnes d'eau qui agissent sur les deux extrémités du siphon sera très forte aussi, et l'eau sera chassée en plus grande quantité dans le tube. Si, au contraire, l'amplitude des seiches est faible, le niveau du bassin restera presque constant.

Quoiqu'il en soit, le plémyramètre donnera d'autant plus exactement le moment des seiches haute et basse que son bassin représentera mieux le niveau moyen, et pour cela que le flotteur fermera mieux l'orifice du tube, que le siphon aura un calibre plus faible relativement à la surface du bassin, enfin que le siphon lui-même sera plus long.

Nous verrons plus loin qu'il est une autre manière de sensibiliser le plémyramètre en lui donnant des proportions et des qualités inverses de celles que nous recherchons à présent.

Comme j'aurai à utiliser fréquemment les constructions graphiques, je dois expliquer le mode de notation que j'ai adopté.

La ligne $mnop\ m'n'o'p'$ de la fig. 11, me servira à cette démonstration. Je désigne par une ligne oblique de bas en haut mn le transport du flotteur de l'arrêt L à l'arrêt B , indiquant le commencement du courant d'entrée ou le commencement de la seiche haute. Le trait horizontal no sur la ligne supérieure représente le temps pendant lequel le flotteur est accolé contre l'arrêt B du côté du bassin ; la longueur de ce trait indique la durée de la seiche haute.

Le trait oblique de haut en bas op indique le transport du flotteur vers l'arrêt L , du côté du lac, le commencement de la seiche basse. La ligne pm' représente la durée de la seiche basse.

Dans toutes les figures qui vont suivre à partir de la fig. 14, l'échelle adoptée pour les temps est de 1^{mm} pour une minute.

Je viens d'expliquer le fonctionnement général du plémyramètre. Suivons-le maintenant dans ses détails.

1^o La sensibilité de l'appareil peut être augmentée à volonté. Comme c'est par le déplacement d'un flotteur, sous l'influence des courants, que se fait l'observation, plus ces courants seront énergiques, plus l'observation sera facilitée. Or, nous augmenterons à volonté l'intensité des courants en agrandissant la surface du bassin ou en diminuant le calibre du siphon. J'ai indiqué les dimensions de l'appareil qui a fonctionné très suffisamment pour mes observations dans tous les lacs suisses où je l'ai mis en activité⁽¹⁾.

(1) Je dois cependant faire remarquer que la sensibilité de mon plémyramètre n'était pas tout-à-fait suffisante pour l'étude que j'ai faite des seiches du petit lac de Bret, comme nous le verrons plus bas.

2^o Je puis calculer la sensibilité de l'appareil de la manière suivante. Etant donnée, la lumière du siphon de 7^{mm} de diamètre, la surface du tube est de 38,5 millimètres carrés. Un déplacement du flotteur de un centimètre correspond donc à l'entrée ou à la sortie de 385 millimètres cubes d'eau. Si cette quantité est répartie à la surface de mon bassin de 925 centimètres carrés, elle représente une épaisseur d'eau de 0,004 millimètres. Or, un déplacement du flotteur de un centimètre à droite ou à gauche, est bien facile à constater. La sensibilité de mon plémyramètre pourrait donc être estimée donner une dénivellation de 4 millièmes de millimètres, si nous ne devions pas faire entrer en ligne de compte les frottements contre les parois du siphon et l'inertie de l'eau.

Quoiqu'il en soit, l'appareil pourra être porté au degré de sensibilité que l'on voudra et nous pourrons mesurer les seiches les plus faibles et les moins amples avec un plémyramètre bien institué.

3^o Mais, dira-t-on, si votre appareil est aussi sensible, son jeu sera nécessairement troublé par les vagues du vent; chaque vague qui élèvera le niveau de l'eau de quelques centimètres, de quelques millimètres même, se traduira par un mouvement énorme du flotteur et masquera le mouvement plus lent et plus doux des seiches.

Cet inconvénient n'a pas lieu d'une manière gênante pour l'observation et la raison en est la suivante :

L'inertie de l'eau rallentit tellement le mouvement dans les tubes relativement minces du siphon que l'effet de déplacement du flotteur causé par les dénivellations de l'eau en est très notablement retardé; il en résulte que l'effet des vagues rapides du vent est presque complètement annulé, et ne commence à se faire sentir que lorsque les

vagues sont très lentes, c'est-à-dire très larges. Cet extinction de l'effet des vagues s'obtient en allongeant la longueur du siphon. Si je jugeais utile d'observer les seiches par un temps de très fortes vagues, j'y arriverais en augmentant suffisamment la longueur de mon siphon. Avec l'instrument dont j'ai donné les dimensions et dont le siphon a une longueur totale de 3 mètres, tant que la vague a une largeur inférieure à 1 mètre, ce qui correspond à une durée moindre de 1.4 seconde, le déplacement du flotteur ne dépasse pas 2 à 3 centimètres à chaque vague, alors qu'il oscille librement au milieu du tube de verre. Or, ce déplacement du flotteur par l'action des vagues du vent se fait d'une manière toute particulière et ne peut être confondu avec le mouvement plus lent, plus majestueux des seiches.

Voici, en effet, quel serait le mouvement du flotteur, supposé un jour de fortes seiches et le lac agité par des vagues d'une seconde de durée (environ 80 centimètres de largeur).

Prenons l'instrument à l'état d'équilibre au milieu de la seiche ascendante alors que le flotteur ayant quitté l'arrêt *L* est à moitié longueur du tube de verre. Nous voyons le flotteur osciller de droite à gauche, d'une longueur de un ou deux centimètres à chaque seconde, nous le voyons traduire ainsi l'effet de chaque vague. La seiche ascendante pousse le flotteur oscillant ainsi jusqu'à l'arrêt *B*; pendant un instant il oscille encore, mais les amplitudes de l'oscillation vont en diminuant sans cesse, et lorsque la différence de niveau entre le lac et l'eau du bassin est devenue assez forte pour que la pression se fasse sentir d'une manière un peu intense sur le flotteur, celui-ci est accollé contre l'arrêt et ne bouge plus. Plus tard la seiche

descend, le niveau du lac s'abaisse et tend à s'égaliser avec l'eau du bassin, la pression de l'eau contre le flotteur diminue, et nous commençons à le voir osciller ; il se sépare faiblement d'abord de l'arrêt qu'il revient toucher après chaque oscillation, mais enfin la seiche basse s'accroissant positivement, il quitte l'arrêt *B* pour se diriger vers l'arrêt *L*, et ainsi de suite.

C'est ce que j'exprime graphiquement dans la fig. 13 où les mouvements du flotteur dûs à l'action des vagues brodent sur la courbe représentant la seiche⁽¹⁾.

Dans la pratique, pour n'être pas dérangé par ces petites oscillations des vagues, et pour permettre entre diverses observations une comparaison plus exacte, j'ai renoncé à noter le moment où le flotteur se décolle en quittant l'arrêt contre lequel il a été appliqué par la pression de l'eau pendant la demi-seiche précédente, et je note l'instant précis où le flotteur atteint (pour la première fois s'il y a des oscillations de vagues) l'arrêt vers lequel il se dirige (*n*, *p*, *n'*, *p'* de la fig. 13).

De cette manière, je ne commence à compter le commencement de la seiche haute ou de la seiche basse, que lorsqu'il est déjà entré ou sorti du bassin une certaine quantité d'eau. Cette quantité constante est dans mon appareil de 9,6 centimètres cubes, qui, répartis sur la surface du bassin, forment une couche d'eau de 0,1 millimètre d'épaisseur.

Quant au temps que met le flotteur pour se transporter dans la longueur du tube, il est très variable suivant les allures de la seiche.

(1) Dans cette figure les temps sont représentés à une échelle quelconque.

J'ai quelquefois noté la durée de ce transport. Ainsi dans l'obs. LXXXIX, fig. 65, elle a été en moyenne de 71 secondes, variant de 30 à 150 secondes.

L'erreur que je commets ainsi en comptant le commencement de la seiche haute ou basse au moment où le flotteur arrive à l'arrêt vers lequel il se dirige et non au moment où il quitte celui contre lequel il était accollé, cette erreur est de sens contraire de celle que je commets en supposant le niveau de l'eau fixe et invariable dans le bassin de mon plémyramètre (voir plus haut); ces deux erreurs dont l'importance est à peu près égale, tendent donc à s'annuler.

Il arrive parfois que le flotteur, tout en se décollant de l'arrêt, n'aie pas une impulsion suffisante pour traverser tout le tube et atteindre l'autre index; dans ce cas, le flotteur revient au bout d'un instant se recoller contre l'arrêt qu'il venait de quitter. C'est ce que j'appelle une demi-oscillation et ce que j'ai traduit dans mes figures par de petits crochets, par exemple fig. 46 *a a*, fig. 51, fig. 55, etc.

II

Seiches normales de Morges. Seiches transversales du Léman.

Etant ainsi donné mon appareil, j'avais à l'appliquer à l'étude du lac et à le voir fonctionner, à étudier grâce à lui les seiches, leur rythme et leurs allures.

Je commencerai par l'utiliser pour les seiches de Morges. C'est la localité en effet, où j'ai le plus longtemps étudié ce mouvement de l'eau, et qui m'a donné le

plus grand nombre d'observations ; c'est là que j'ai été à même de suivre le mieux le phénomène.

Je dispose de 44 observations faites à Morges à l'aide de mon plémyramètre, représentant une durée totale de 1850 minutes environ, soit près de 31 heures d'observation. Comme l'étude que j'entreprends actuellement est nouvelle, comme j'ai à marcher dans un terrain absolument inexploré, et à me frayer mon chemin sans guide et sans appui, je crois prudent de publier ici toutes ces observations ; celles qui ont bien réussi, comme celles qui semblent moins heureuses, celles qui coïncident facilement avec la théorie telle que je la comprends et celles qui y semblent rebelles. Seulement, comme ces observations, lorsqu'elles sont données en chiffres et en minutes ou secondes, sont fort difficiles à lire et à interpréter, comme au contraire données sous la forme graphique, elles parlent mieux et plus rapidement à l'esprit, c'est surtout sous la forme de figures que je rapporterai ces observations de seiches, et je serai autant que possible sobre de chiffres.

L'étude des chiffres, figures et dessins des seiches observées à Morges du 5 octobre 1873 à aujourd'hui (février 1875), m'a conduit aux résultats suivants :

1^o Il y a toujours un mouvement appréciable dans le niveau de l'eau du lac, et ce mouvement se traduit toujours sous la forme d'oscillations du niveau, qui alternativement s'élève et s'abaisse. Ces oscillations sont le plus souvent très faibles ; leur amplitude atteint rarement un centimètre, le plus souvent elles sont de un millimètre ou même moins. Mais à l'aide d'un plémyramètre suffisamment sensible, je constate toujours ces oscillations. Jamais je n'ai mis en jeu mon appareil sans reconnaître l'existence de seiches.

2^o Sur mes 44 observations, il en est 9 anormales que je laisse de côté pour le moment et dont j'étudierai plus loin la signification (fig. 48 à 55 *bis*.)

3^o Les 35 observations (fig. 14 à 47) qui me restent, présentent un caractère très évident, très remarquable et très facile à constater, c'est que les mouvements d'oscillation de l'eau ne sont point irréguliers, fortuits, tantôt plus grands, tantôt plus petits, mais ils sont soumis à un rythme très reconnaissable.

4^o Ce rythme, s'il est évident et reconnaissable au premier coup d'œil, sur les tracés graphiques en particulier, n'en est pas moins soumis à certaines variations.

J'en donnerai une idée en indiquant la durée en secondes des temps de quelques seiches observées à Morges; j'ai pris mes observations en ordre de date, sans les trier ni les choisir.

Date.	No	Fig.	Seiche haute.	Seiche basse.	Date.	No	Fig.	Seiche haute.	Seiche basse.
1873					1873				
5 oct.	XXI	14	105	175	7 oct.	XXVII	20	—	455
			415	305				225	310
			385	395				370	400
			230	855	9 oct.	XXVIII	21	—	255
			230	490				255	295
			295	290				525	—
6 oct.	XXII	15	545	235	11 oct.	XXIX	22	435	380
			490	390				110	325
			585	—	— —	XXX	23	—	300
7 oct.	XXIII	16	500	455				355	395
			115	445	12 oct.	XXXI	24	355	600
			205	340	18 oct.	XXVI	19	405	350
			235	—	— —	XXXV	28	455	345
— —	XXIV	17	—	270	et ainsi de suite.				
			315	—					

Ces chiffres sont assez différents les uns des autres, et au premier abord on peut me reprocher de rechercher un rythme dans des mouvements dont la durée est aussi variable. Quand nous comparerons à ces chiffres les valeurs trouvées dans d'autres lacs, nous verrons bien que cette idée d'un rythme propre à chaque localité est justifiée ; mais même en étudiant simplement ces durées des demi-seiches de Morges, nous constaterons que ce rythme dont je parle existe bien en réalité.

5^o Si je réunis les observations que je possède, me donnant un total de 73 seiches hautes, et 68 seiches basses, en tout, 141 demi-seiches, je reconnais que sur ce nombre il en est

4 dont la durée est inférieure à 100 secondes,				
17	»	entre	100 et 200	»
46	»	»	200 » 300	»
39	»	»	300 » 400	»
20	»	»	400 » 500	»
7	»	»	500 » 600	»
2	»	»	600 » 700	»
1	»	»	700 » 800	»
1	»	»	800 » 900	»
0	»	»	900 » 1000	»
1	»	»	1000 » 1100	»
1	»	»	1100 » 1200	»

Ce tableau montre bien que la durée de ces demi-seiches varie entre 100 à 600 secondes et surtout entre 200 à 400 ; qu'elle est variable dans de certaines limites, mais en oscillant, en variant autour d'une moyenne⁽¹⁾.

(¹) Je ferai remarquer que cette conclusion corrige ce qu'il y avait de trop absolu dans les affirmations de ma première

Cette moyenne, pouvons-nous nous hasarder à la donner ? Il est de règle de ne chercher des valeurs moyennes qu'entre des chiffres fort semblables ; quand les différences sont trop fortes, c'est qu'il existe trop d'éléments inconnus d'irrégularité, et l'on ne peut établir aucun fondement sur ces moyennes. Or, comme nous sommes ici en présence de chiffres très dissemblables, l'erreur possible risque d'être très forte. Mais les observations que j'ai des seiches de Morges sont en nombre suffisant pour réduire notablement l'erreur de la moyenne. Et, du reste, c'est seulement en tirant la valeur moyenne de mes observations dans différents lacs que je pourrai les comparer ensemble.

J'éliminerai les demi-seiches, dont la valeur est trop aberrante, celles qui sont inférieures à 100 secondes et supérieures à 800, seiches sur lesquelles nous aurons à revenir plus loin, et je tire la moyenne arithmétique de 132 demi-seiches observées à Morges. Cette moyenne est de 315 secondes, avec une erreur à craindre de ± 9 secondes.

D'où je tire la valeur moyenne de la seiche entière à Morges de 630 secondes.

Ces quelques chiffres suffiront, je l'espère, à représenter les allures des seiches à Morges.

étude au sujet de la durée des seiches. J'avais remarqué que cette durée était différente d'une seiche à l'autre, d'un jour à l'autre dans la même localité, et différente aussi d'une localité à l'autre. Aujourd'hui je prouverai d'une manière plus complète ce dernier point que le rythme est différent dans des localités différentes. Mais pour ce qui regarde la même localité je trouve beaucoup plus tôt une analogie très grande dans la durée des diverses seiches plutôt qu'une différence. Je suis plus frappé par la similitude que par la dissemblance.

6^o Dans ma première étude sur les seiches ⁽¹⁾, je me suis déjà occupé de ce mouvement des seiches de Morges, et j'étais arrivé à des résultats fort différents. La durée des seiches entières variait entre 160 et 415 secondes, et les moyennes que je tirais de douze observations différentes, représentant 93 demi-seiches, était de 264 secondes pour la durée de la seiche entière. Or, actuellement, j'arrive à un chiffre plus de deux fois plus fort, soit 630 secondes.

Nous aurons plus loin à rechercher l'origine et la signification de cette différence.

7^o J'appelle, quitte à justifier plus tard aussi cette détermination, seiches transversales du Léman, ces seiches de 630 secondes de durée que j'observe à Morges.

III.

Seiches longitudinales du lac Léman étudiées à Veytaux, Evian et Morges.

En terminant ma première étude, j'étais arrivé à la conclusion que les seiches sont des vagues de balancement oscillant d'une rive à la rive opposée, suivant l'un ou l'autre des diamètres du lac. Me fondant sur la différence de durée des seiches à Genève et à Morges, je voyais dans les seiches rapides que je constatais à Morges des vagues de balancement établies suivant le petit diamètre du lac de Morges à Evian ; je voyais, au contraire, dans les longues seiches étudiées à Genève par Vaucher de grandes vagues de balancement établies suivant le

(1) I^{re} étude, p. 15 sq.

grand axe du lac de Genève à Villeneuve. Les seiches de Morges seraient donc, conformément à la définition donnée au commencement de cette nouvelle étude, des seiches transversales, les seiches de Genève des seiches longitudinales.

Mais, pour juger cette question, je demandais entre autres que l'on mesurât exactement la durée des seiches à l'extrémité orientale du lac, et que l'on constatât si cette durée ne coïnciderait pas plutôt avec la durée des seiches de Genève, évaluée à 1590 secondes d'après les observations de Vaucher, plutôt qu'avec la durée des seiches de Morges, que j'avais établie à 264 secondes.

Je tenais à cœur de répondre moi-même à cette question, et le 28 septembre 1873, j'allai m'établir à Veytaux pour observer les seiches de l'extrémité même du lac. Le temps était splendide ; le baromètre était très haut et presque immobile, le lac plat comme un miroir. C'était, d'après tout ce que nous savions des seiches, des conditions déplorables pour l'observation ; les seiches devaient être nulles ou presque nulles. Aussi, c'est pour les constater et les mesurer, même dans ces conditions si peu propices, que j'imaginai le plémyramètre décrit plus haut. Cet appareil fonctionna à souhait, et du 28 septembre au 4 octobre, je le mis huit fois en activité, et toujours, dans toutes ces observations, j'obtins un mouvement très évident des seiches. C'est alors qu'en considérant les conditions particulièrement peu favorables pour l'observation des seiches dans lesquelles je m'étais trouvé, remarquant que lors même que tout semblait réuni pour supprimer ce mouvement, cependant je pouvais encore constater l'existence de seiches, c'est alors que je formulai le post-scriptum de ma première étude, ainsi conçu : « Les seiches ne

sont pas, comme on l'a cru jusqu'à présent, un phénomène accidentel ; elles existent normalement, et c'est leur absence qui est le fait exceptionnel. »

Cette continuité du mouvement des seiches, je l'ai depuis vérifiée dans mes nouvelles observations de Morges, et j'aurai à revenir sur ce fait important.

J'avais établi mon plémyramètre près de l'embouchure de la Veraie, et, par conséquent, non loin du point de la rive où l'axe longitudinal du lac vient aboutir à la terre ferme (le point exact serait le château de Chillon). Je pouvais donc espérer avoir de vraies seiches longitudinales et en constater facilement la durée.

Dès le premier jour, je m'aperçus que j'avais affaire à un rythme tout autre que celui de Morges. Voici, en effet, les chiffres de mes observations de Veytaux, donnant en secondes la durée des deux temps des diverses seiches :

Date.	No	Fig.	Seiche haute.	Seiche basse.	Date.	No	Fig.	Seiche haute.	Seiche basse.
1873					1873				
29 sept.	LXV	57	—	1610	2 oct.	LXX	62	—	1235
			655	1195				1220	1115
30 sept.	LXVI	58	550	510				675	1235
			1680	1630	3 oct.	LXXI	63	980	1130
			650	—				225	430
1 ^{er} oct.	LXVIII	60	—	190				485	745
			665	1900				1135	160
			505	1040				565	585
			560	—				620	—
2 oct.	LXXIII	64	—	880	4 oct.	LXIX	61	—	390
			1160	1065				350	980
			945	—				705	1260

Si je reprends ces chiffres, et si je les établis en séries, comme je l'ai fait pour les seiches de Morges, je reconnais qu'il y a en fait de demi-seiches :

2 de 100 à 200 secondes.	1 de 800 à 900 secondes.
1 200 » 300 »	3 900 » 1000 »
2 300 » 400 »	2 1000 » 1100 »
3 400 » 500 »	5 1100 » 1200 »
6 500 » 600 »	4 1200 » 1300 »
6 600 » 700 »	et enfin
2 700 » 800 »	4 au-dessus de 1300 »

La moyenne générale que je tire de tous ces chiffres est de 1783 secondes pour la vague entière. C'est, comme on le voit, un chiffre absolument différent de ceux que m'ont donné mes observations de Morges, aussi bien la première série 264 que la deuxième, 630 secondes. La valeur moyenne se rapproche beaucoup plus de celle des seiches de Genève. Je conclus de là à la confirmation de mon hypothèse, de l'existence de seiches longitudinales du lac, distinctes des seiches transversales.

Si je reviens à mon tableau des seiches de Veytaux, je retrouve un fait que nous aurons encore à signaler à Morges et ailleurs, à savoir l'existence dans la même localité de seiches à rythmes différents. Dans ce tableau, où j'ai établi les 41 demi-seiches dont j'ai l'observation en série d'après leur durée, je vois deux groupes bien évidents et bien prononcés, l'un comprenant 17 demi-seiches, dont la durée varie entre 300 et 700 secondes, l'autre 14 demi-seiches, dont la durée varie entre 900 et 1300. Si je sépare ces deux groupes et si j'en cherche la durée moyenne, je trouve :

1^{er} groupe, durée moyenne demi-seiche, 548 secondes ;
seiche entière, 1096 »

2^e groupe, durée moyenne demi-seiche, 1121 secondes ;
seiche entière, 2242 »

J'aurai à revenir plus tard sur cette distinction.

Les observations de seiches que j'ai faites à Veytaux, rapprochées de celles que Vaucher avait décrites à Genève, nous montrent un rythme totalement différent de celui que nous avons étudié à Morges, et beaucoup plus long que lui. En rapprochant ce fait de tout ce que nous avons constaté au sujet des seiches du lac Léman, nous sommes autorisé à considérer ces grandes oscillations de Veytaux et de Genève comme étant des seiches longitudinales, des vagues de balancement établies suivant le grand axe du lac de Chillon à Genève.

Mais dans l'hypothèse que les seiches sont des vagues de balancement, ces longues seiches longitudinales, si elles ont leur maximum d'amplitude aux deux extrémités du grand diamètre du lac, elles doivent cependant être sensibles sur tout le reste du bassin, à l'exception de la ligne formant nœud d'oscillation, de la ligne perpendiculaire au grand axe, à égale distance de chaque extrémité. Sur cette ligne, le niveau de l'eau doit être stationnaire, et le mouvement des seiches longitudinales ne se manifester que par un très léger déplacement horizontal de l'eau. Dans toutes les autres régions du lac, la seiche longitudinale doit être sensible et se traduire par une dénivellation de l'eau, dont l'amplitude doit être d'autant plus forte que le lieu de l'observation sera plus rapproché de l'une des extrémités du grand axe.

Il s'ensuit que je dois pouvoir retrouver la seiche longitudinale ailleurs qu'à Chillon et à Genève ; et, dans le fait, je l'ai constatée à Evian et à Morges, deux points qui

ne sont donc pas sur la ligne de nœud de l'oscillation longitudinale du lac.

C'est ainsi du moins que j'interprète de grandes et longues oscillations que j'ai constatées à Evian et qui sont représentées dans les figures 65, 66, 67 et 68.

Etudions en détail ces seiches ; elles nous amèneront à une conclusion importante :

L'observation LXXXVIII, fig. 67, nous donne une seiche très simple, formée par une magnifique et très longue oscillation.

La durée de la seiche basse a été de 3115 secondes.

» » haute » 1915 »

Les seiches nos LXXXVI et LXXXVII, fig. 66 et 68, sont un peu plus compliquées ; pendant la durée des seiches hautes ou basses, le flotteur se décollait de temps en temps, et je pouvais noter ce que j'ai appelé des demi-oscillations ; les demi-oscillations sont encore plus fréquentes dans l'observation n° LXXXIX, fig. 65.

Mais dans les seiches n° LXXXIX observées à Evian le 16 janvier 1875, nous trouvons quelque chose de plus ; en outre des demi-oscillations qui brodent sur les grands mouvements de longues seiches, nous voyons à la fin de chaque grande ondulation une ou deux ondulations plus courtes, nous voyons alterner des mouvements très longs et des mouvements très courts. Voici, en effet, les chiffres de cette observation (je néglige les demi-oscillations).

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 65.	—	240 secondes.
	250 secondes.	1580 »
	200 »	190 »
	2065 »	180 »
	180 »	2115 »
	220 »	130 »

Si nous lisons ces chiffres comme ils doivent se lire, dans la succession naturelles des moments, 240, 250, 1580, 200, 190, 2065, 180, 180, 2115, etc., nous reconnaissons les séries alternatives suivantes : deux demi-seiches très rapides de 130 à 250 secondes de durée. Puis une demi-seiche très longue, de 1580 à 2115 secondes. Puis de nouveau deux demi-seiches courtes, et ainsi de suite. Il y a là dans ces alternatives quelque chose de frappant, qui doit être interprété. Voici l'explication que nous en proposerons :

Si nous supposons, comme dans la fig. 12, que deux oscillations d'ordre différent font varier en même temps le niveau de l'eau, d'une part, de grandes oscillations, que nous appellerons seiches de premier ordre, FG , $F'G'$, plus lentes et plus amples, d'une autre part, de petites oscillations, seiches de second ordre, fg , $f'g'$, $f''g''$, etc., plus courtes et moins amples que les premières, le plémyramètre traduira par les mouvements de son flotteur une courbe analogue à la ligne $H H'$ de cette figure 12 : Voici en effet ce qui se passera : Indépendamment des petites oscillations des seiches de second ordre, et malgré ces oscillations, le niveau général de l'eau du lac restera supérieur ou inférieur à celui du bassin du plémyramètre pendant la plus grande partie de la seiche haute ou de la seiche basse de l'oscillation de premier ordre ; ce ne sera qu'à la fin de chacun de ces mouvements, alors que le niveau du lac sera presque redevenu égal au niveau du bassin, que le plémyramètre traduira, par les déplacements de son flotteur, les seiches de second ordre (k , k' , k'' de la fig. 12).

La figure 65 qui représente nos seiches d'Evian, présente une telle analogie avec la ligne $H H'$ de la fig. 12,

dont nous venons d'analyser l'origine, qu'il nous est impossible de lui chercher une autre signification. Nous admettrons donc que le 16 janvier 1875 il y avait à Evian deux ordres de dénivellations, brochant les unes sur les autres, à savoir :

1^o Des seiches de 1^{er} ordre très longues et relativement plus amples; cependant n'étant pas tellement amples que les seiches de II^e ordre n'aient pu se traduire par des demi-oscillations.

2^o Des seiches de second ordre beaucoup plus rapides et plus courtes qui se traduisaient au plémyramètre par des oscillations entières quand les niveaux approchaient de l'égalité, par des demi-oscillations quand les seiches de premier ordre étaient au maximum ou au minimum de leur dénivellation.

Cela nous amène à la notion nouvelle et très importante que des seiches de différents ordres peuvent se superposer les unes aux autres, coexister dans la même localité les unes avec les autres, broder les unes sur les autres. De même que dans les vagues du vent l'on voit les grandes lames moirées à leur surface par les petites rides, de même dans les seiches d'oscillation fixe, nous voyons de petites seiches courtes et rapides faire varier le niveau au-dessus et au-dessous de la courbe générale tracée par les oscillations de premier ordre.

Telle est l'interprétation que je propose aux observations dont je m'occupe actuellement; nous retrouverons des faits analogues dans d'autres circonstances.

Cela étant admis, j'expliquerai comme suit les deux ordres de seiches que nous venons d'analyser ⁽¹⁾.

(¹) Cette explication est purement conjecturale. Elle ne repose

1^o La seiche de premier ordre serait la seiche longitudinale (ou une des seiches longitudinales) du lac Léman.

2^o Les seiches de second ordre qui se traduisent par les demi-oscillations des fig. 65, 66 et 68 et par les oscillations rapides et courtes de la fig. 65 et de la fin de la fig. 68, ces seiches de second ordre seraient les seiches transversales du lac Léman, analogues à celles que nous avons étudiées à Morges dans le paragraphe précédent.

Dans cette hypothèse, l'observation LXXXVII, fig. 68, par exemple, s'interpréterait ainsi : De 10 heures à midi et 30 min. des seiches longitudinales très belles et régulières ; de 11 heures 25 minutes à midi quelques seiches transversales très faibles ne se traduisant que par des demi-oscillations ; à partir de midi et 35 minutes, seiches transversales très fortes masquant presque complètement les oscillations des seiches longitudinales de premier ordre.

Le même fait que nous venons d'exposer nous le retrouvons dans un certain nombre de nos observations de Morges, celles que nous avons laissées de côté et sur lesquelles nous allons actuellement revenir. Observations LV, LVI, LVII, LVIII, LX, LXI, LXII et peut être LIII au commencement. (Voir fig. 46, 48 à 55). Ces seiches ne sont pas aussi précises et aussi faciles à interpréter que celles de l'observation LXXXIX d'Evian ; l'on n'y voit pas aussi nettement les deux ordres d'oscillation. Mais après les avoir étudiées avec attention et les avoir soigneusement criti-

sur aucune expérience directe, mais j'y arrive en généralisant les données que m'a fournies une étude très longue déjà de ces phénomènes. Cette détermination des seiches longitudinales et transversales est assez en harmonie avec les faits que nous apprendra la comparaison des seiches dans des lacs de dimensions différentes.

quées, je crois que l'on ne peut interpréter autrement ces observations qui diffèrent absolument par leurs allures de tout ce que nous avons vu jusqu'à présent à Morges. Je constate, en comparant leurs tracés graphiques, que partout dans ces 8 observations, il y a de longues seiches, d'une durée incomparablement plus grande que celle des petites seiches de 630 secondes des observations XIV à LIV; que ces longues seiches sont brodées par de petites seiches courtes et rapides correspondant pour leurs allures aux seiches normales de Morges. Si je ne fais erreur, nous avons là, mais partiellement et d'une manière moins distincte le même fait qui est si brillamment figuré dans l'observation LXXXIX.

Cette coexistence de deux ordres de seiches est du reste une conséquence forcée de ce que nous avons vu jusqu'à présent. Nous avons constaté qu'à Veytaux il y avait constamment un mouvement de seiches que nous avons estimé être les seiches longitudinales du lac; nous avons constaté qu'à Morges il y a constamment aussi un mouvement que nous avons estimé appartenir aux seiches transversales. L'existence continue et constante de ces deux mouvements entraîne nécessairement leur coexistence dans tous les points où l'un des deux n'est pas annulé, dans tous les points par conséquent qui ne sont pas sur la ligne du nœud de l'oscillation. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que nous trouvions les deux ordres de seiches brodant les unes sur les autres, et nous pouvons tirer de cela une confirmation nouvelle de la justesse de notre hypothèse qui fait des seiches des vagues de balancement.

Si maintenant j'essaie d'évaluer la durée de ces seiches

longitudinales telles que je les ai mesurées à Morges et à Evian⁽¹⁾, j'arrive aux chiffres approximatifs de

2267 secondes pour la demi-seiche,

4534 » pour la seiche entière.

Je reconnais ici, et sans pouvoir l'expliquer, que ces valeurs sont différentes et très notablement supérieures à celles que j'ai trouvées pour la durée des seiches à Veytaux.

La notion de deux ordres de seiches qui peuvent exister simultanément dans la même localité en brochant l'une sur l'autre, tantôt en additionnant tantôt en annulant leurs effets, me permettra d'expliquer un fait qui m'a longtemps embarrassé.

Dans mes premières études, j'avais déterminé la durée des seiches de Morges à 264 secondes en prenant la moyenne des observations que j'avais faites à la petite ouverture du port⁽²⁾. En étudiant à Morges aussi les seiches au plémyramètre, je suis arrivé dans ces nouvelles recherches à une durée de plus du double, soit à 630 secondes. La différence est trop forte pour qu'on puisse l'attribuer à des erreurs de moyennes; j'ai repris du reste mes observations à la petite ouverture du port et ai retrouvé mes seiches très rapides que je ne connaissais plus depuis que je me servais du plémyramètre. Enfin j'ai observé simultanément les mouvements de l'eau dans les courants de l'ouverture du port et dans les déplacements de l'index de mon plémyramètre, fig. 89, j'ai constaté, à ma grande surprise, que cet instrument, que j'estimais à bon droit

(1) Ces chiffres moyens sont calculés d'après 13 demi-seiches observées à Morges et à Evian.

(2) I^{re} étude, p. 17.

être aussi sensible que possible, était moins souvent mis en mouvement que l'eau de l'ouverture du port; que le nombre des oscillations indiquées par le plémyramètre était beaucoup moindre que le nombre des seiches visibles à l'ouverture du port.

Mais d'une autre part j'ai reconnu que dans d'autres circonstances lorsque l'eau restait immobile à l'ouverture du port, et qu'aucun courant n'y trahissait l'existence de seiches, mon plémyramètre me permettait cependant de constater des oscillations très évidentes de l'eau.

Ainsi donc, d'un côté le plémyramètre est plus sensible que le port en m'indiquant des seiches quand les courants de l'ouverture du port sont trop faibles pour rien signifier; d'un autre côté, lorsque les deux méthodes d'observation peuvent être employées simultanément, je lis à l'embouchure du port un plus grand nombre de seiches qu'à l'aide du plémyramètre, un certain nombre d'oscillations ne sont pas signalées par le plémyramètre.

Je m'explique maintenant ces contradictions en supposant qu'il existe à Morges en outre des seiches rapides de 630 secondes que nous avons appelées des seiches de second ordre, qu'il existe encore des seiches de troisième ordre de 264 secondes de durée moyenne, qui brodent sur les seiches de second ordre comme nous avons vu dans l'observation LXXXIX les deux premiers ordres de seiches broder les unes sur les autres. Dans cette supposition, les seiches de second ordre seraient dessinées par le plémyramètre, les seiches de troisième ordre par les courants du port.

Mais pourquoi cette différence de sensibilité dans ces deux plémyramètres, car le port de Morges n'est pas autre

chose qu'un plémyramètre gigantesque, et comment en rendre compte.

Tandis que le bassin de mon plémyramètre a un niveau relativement constant qui ne suit, grâce à la faiblesse du calibre de son siphon, que très lentement les dénivellations du lac, le port de Morges présente au contraire un niveau très facilement variable ; les dénivellations du lac s'y traduisent très rapidement. La raison en est que, outre la petite ouverture où je fais mes observations, petite ouverture très étroite et où les courants sont assez rapides pour être facilement discernables, il y a dans le port de Morges une grande et large entrée pour le passage des bateaux et des barques ; cette entrée, de quelques 30 mètres de largeur et de 3 à 4 mètres de profondeur, permet une équilibration très rapide du niveau de l'eau, et la surface du port est en réalité beaucoup moins fixe, beaucoup moins constante que celle du bassin de mon plémyramètre. L'on comprendra donc que le port suive facilement dans leurs dénivellations les oscillations des seiches de premier et de second ordre et ne signale par des courants à la petite ouverture que les broderies des seiches de troisième ordre.

Pour vérifier l'exactitude de cette interprétation j'ai institué l'expérience suivante :

A côté de mon plémyramètre ordinaire dont j'ai indiqué les dimensions et qui me signale les seiches de second ordre de 630 secondes à Morges, j'ai mis en jeu un second plémyramètre qui devait représenter les conditions de variabilité plus grande du port de Morges. Pour cela je lui ai donné un bassin de moitié moins large que celui de mon plémyramètre ordinaire, de telle manière qu'une petite quantité d'eau suffise pour rétablir l'équilibre de ce

bassin avec le niveau du lac ; puis outre le tube à flotteur du plémyramètre, tube que j'avais eu soin de raccourcir autant que possible, j'ai amorcé deux autres siphons en caoutchouc, sans flotteur, qui permettaient une libre et rapide circulation de l'eau. Bref, j'ai additionné toutes les conditions les plus favorables pour que le niveau du bassin suivît autant que possible les grandes dénivellations de l'eau du lac, suivît par exemple la ligne ponctuée *h h h* de la fig. 12.

L'observation simultanée de ces deux instruments m'a montré que effectivement le second plémyramètre dessinait un nombre bien plus considérable de seiches que le premier, et qu'il répondait sous ce rapport à la sensibilité particulière des courants du port. Mais, d'un autre côté, les mouvements du flotteur de ce second plémyramètre étaient plus paresseux que ceux du premier et si l'amplitude des seiches n'avait pas été très considérable, il est probable que le courant d'eau dans le siphon à flotteur du second plémyramètre n'eût pas été assez énergique pour déplacer le flotteur ; toute l'eau nécessaire au rétablissement du niveau aurait passé largement par les siphons accessoires.

Cette expérience, répétant d'une autre manière les conditions de l'observation des seiches du port de Morges, et fournissant des résultats très analogues, je crois pouvoir donner comme plausible l'explication que j'ai proposée et admettre à Morges l'existence d'un troisième ordre de seiches dont la durée serait de 264 secondes environ.

Mais, me dira-t-on, comment se fait-il que ces seiches de III^e ordre, si elles existent plus ou moins continuellement, ne se dessinent pas à votre plémyramètre ? De même que dans votre expérience LXXXIX vous avez vu à Evian

les seiches de II^e ordre broder sur celles de I^{er} ordre, de même à Morges vous devriez observer si ce n'est toujours, au moins parfois, ces petites seiches rapides de 264 secondes de durée.

Je n'ai pour répondre à cette objection qu'une seule observation un peu positive. Mais elle est péremptoire vu les conditions particulièrement favorables dans lesquelles s'est faite l'observation. C'est l'expérience LXIII (fig. 55 *bis*). Le 24 octobre 1873, j'avais inscrit sur mes notes : « Fortes seiches, violents courants aux ouvertures du port ; mouvements très rapides du flotteur du plémyramètre ; le baromètre est très bas, tout fait prévoir un orage. » Dans ces conditions où l'observation des seiches devait être excellente, j'ai compté les durées suivantes qui m'ont beaucoup étonné :

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 55 <i>bis</i> .	225 secondes.	220 secondes.
	225 »	85 »
	75 »	155 »
	25 »	75 »
	400 »	220 »
	210 »	485 »

Il y a là non-seulement une irrégularité excessive, et mal en rapport avec l'intensité de ces seiches, mais encore des mouvements très rapides complètement inexplicables par tout ce que le plémyramètre m'avait appris des seiches de Morges.

Ce n'est qu'en comparant ces petites seiches très rapides à celles que j'ai observées à l'ouverture du port de Morges, que j'ai eu enfin une explication admissible. Je suppose que ces demi-seiches de 85, 75, 155, 25 et 75

secondes étaient des seiches de III^e ordre qui ne sont par extraordinaire dessinées aux mouvements du plémyramètre, en raison de l'énergie extrême de leurs mouvements.

Que sont ces seiches de III^e ordre? Je n'ai aucune hypothèse à proposer pour expliquer leur signification.

Il est possible, il est même probable, qu'un certain nombre d'oscillations relativement plus courtes que j'ai fait rentrer dans les seiches de II^e ordre appartenaient à ces seiches de III^e ordre ⁽¹⁾, que par conséquent la valeur moyenne que j'ai donnée pour les seiches de II^e ordre, est trop basse. Mais comme il est probable aussi que j'ai fait d'une autre part l'erreur de considérer comme oscillations de II^e ordre quelques seiches de I^{er} ordre⁽²⁾, que par conséquent j'ai élevé de ce fait la valeur moyenne des seiches normales de Morges, je veux espérer que ces deux causes d'erreurs étant opposées se seront annulées en partie. Je suis du reste hors d'état de vérifier et de corriger ces erreurs s'il y en a, et je dois attendre qu'un appareil enregistreur ait dessiné toutes ces oscillations du niveau du lac pour pouvoir essayer de les débrouiller un peu mieux.

Pendant que nous en sommes à ces différents ordres de seiches, signalons encore des oscillations très courtes et très rapides que j'ai fréquemment eu l'occasion d'observer, mais que le plus souvent je n'ai pas notées vu

⁽¹⁾ Je citerai par exemple : exp. XLIII, fig. 36 ; exp. XLV, fig. 38, de 4 h. 13 à 4 h. 19, etc.

⁽²⁾ Par exemple : exp. LIV, fig. 47, les très longues seiches basses de 3 h. 20 à 3 h. 57 ; exp. LIX, fig. 52, les très longues seiches hautes de 11 h. 56 à midi 29, etc.

leur peu d'intensité. Pendant l'observation n° LXXXVII, fig. 68, Evian, 30 septembre 1873, à côté des grandes seiches de I^{er} ordre de 75 minutes de durée moyenne, en outre des seiches de II^e ordre qui se trahissent par des demi-oscillations, et que je puis assimiler à nos seiches de Morges de 630 secondes de durée, je voyais pendant toute la matinée le flotteur agité de mouvements latéraux très sensibles; il se déplaçait de quelques centimètres seulement, mais ce déplacement était beaucoup trop fort pour que j'aie pu l'attribuer aux vagues du vent, très faibles ce jour-là. Le rythme de ce mouvement était du reste fort différent de ces dernières; j'ai compté 10 oscillations en 440 secondes, ce qui donne une valeur moyenne de 44 secondes pour chaque oscillation, tandis que la durée des vagues du vent était bien inférieure à une seconde. Les oscillations en question étaient de petites ondulations spéciales, très faibles et très peu amples, dont je ne puis aucunement donner la signification, mais que je dois noter ici, car elles se reproduisent assez fréquemment; en particulier je puis dire que je les ai remarquées dans toutes mes observations de seiches à Evian.

Résumons ces différents chiffres en mettant en présence les valeurs auxquelles nous sommes arrivés par divers procédés d'observation dans diverses localités sur les rives du lac Léman.

Sans parler de ces petites oscillations de 44 secondes de durée, dont je ne connais point la signification et que je ne veux pas même appeler des seiches, nous avons :

1^o A *Morges* et à *Evian*.

A. Les seiches de I^{er} ordre que j'estime être les seiches longitudinales du lac 4534 secondes.

B. Les seiches de II^e ordres observées à Morges et à Evian à l'aide du plémyramètre. (Seiches transversales du lac Léman) 630 »

C. Les seiches de III^e ordre observées à l'aide des courants d'entrée et de sortie de l'ouverture du port de Morges 264 »

2^o A *Veytaux*.

I^{er} groupe de seiches 1096 »

II^e groupe 2242 »

3^o A *Genève*, les seiches étudiées par Vaucher, dont la durée est tellement variable que j'ose à peine répéter ici le chiffre que j'ai obtenu en prenant la moyenne arithmétique 1590 »

Et toutes ces oscillations brodent les unes sur les autres et entrecroisent leurs dénivellations : il y a vraiment de quoi troubler l'esprit le plus calme. Il faut que j'aie une foi bien robuste dans la vérité de mon hypothèse pour continuer à maintenir que au milieu de toutes ces vagues qui se croisent et se mêlent, il y a cependant encore un rythme reconnaissable.

C'est cependant ce que j'essaierai de démontrer dans le paragraphe suivant.

IV.

Etude comparative des seiches de différents lacs suisses.

Il résulte des faits résumés à la fin du paragraphe précédent que dans le lac Léman nous trouvons en étudiant les seiches des oscillations très diverses, variées, différant entr'elles de durée et de valeur. Au lieu d'être en présence d'un phénomène simple, nous avons à constater une complication extrême dans ces ondulations.

Mais si nous jetons un regard sur la carte du Léman, nous aurons, me semble-t-il, l'explication plausible de ces complications et de ces irrégularités. Le lac est loin d'avoir une forme régulière; son grand axe n'est point rectiligne, sa grande courbure sur la côte vaudoise est un arc de cercle de 130° environ d'ouverture et de $33\frac{1}{2}$ kilomètres de rayon; sa largeur varie du simple au triple dans le petit et dans le grand lac: un puissant promontoire, la pointe d'Yvoire rétrécit subitement devant Nyon la grande largeur du lac. Pour la profondeur nous avons les mêmes irrégularités, et tandis que dans le Grand lac la profondeur moyenne est supérieure à 200 mètres, elle n'est guère que de 50 mètres dans le Petit lac, ou lac de Genève. Le lac Léman est un bassin très irrégulier.

Or avec notre hypothèse des vagues de balancement on ne peut attendre de la régularité chez les seiches que dans un bassin régulier. L'irrégularité du bassin, entraînant des réflexions obliques et croisées d'ondes, s'oppose à la régularité des oscillations. Nous n'avons donc pas lieu de

trop nous étonner des oscillations si nombreuses et si diverses ⁽¹⁾ que nous avons constatées dans le lac Léman.

Cette considération m'a engagé à chercher d'autres bassins plus réguliers, des lacs plus simples et moins compliqués dans leur forme pour y constater si les seiches n'y seraient pas plus régulières. C'est ce que j'ai fait en allant étudier avec mon plémyramètre les seiches de quelques lacs suisses.

En faisant cette recherche mon but était en outre le suivant :

Par l'étude du mouvement de balancement de l'eau dans un bassin à expériences ⁽²⁾ j'ai constaté que la durée de la vague de balancement était en fonction directe de la longueur du bassin. Plus le bassin est long, plus longue est la durée de la vague. Si les seiches sont des vagues de balancement, elles devront suivre la même loi, et être d'autant plus lentes que le lac où je les étudierai sera plus long. Cette étude des seiches dans différents lacs, réguliers si possible, et de longueurs différentes, devait donc à ce point de vue juger la vérité de mon hypothèse sur la nature de l'oscillation de l'eau.

Je décrirai successivement ces diverses observations faites dans huit lacs différents, en suivant l'ordre de grandeur de ces lacs.

(1) J'ai surtout en vue dans ces lignes les seiches très irrégulières que j'ai constatées à Veytaux. Les seiches que j'ai observées à Morges et à Evian sont d'ordres différents, de durées diverses, et correspondent probablement à des ondulations de nature différente; mais elles ne sont pas extraordinairement irrégulières.

(2) 1^{re} étude, p. 31, sq.

I. Lac de Constance.

Longueur totale 64,8 kilomètres.

Profondeur maximale 276^m ⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur 1 : 235.

Exp. LXXII.

BREGENZ.

14 sept. 1874.

Le temps était splendide le 14 septembre quand j'allai m'installer à 10 heures du matin sur la grève du lac de Constance derrière la gare de Bregenz. Pendant les jours précédents le Föhn avait soufflé dans la vallée du Rhin et le calme plat, sous un ciel splendide, qui réjouissait ce matin-là le beau lac de Constance, précédait un violent coup de Bise qui allait s'élever vers les 2 heures de l'après-midi. Les conditions étaient excellentes pour avoir de belles seiches, et dans le fait mon plémyramètre m'indiqua bientôt de grandes et belles oscillations, sans broderies et sans oscillations secondaires. Voici la durée de 5 demi-seiches que j'observai successivement.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 72	—	2565 secondes.
	1835 secondes.	1580 —
	1735 —	1270 —
Valeurs moyennes ⁽²⁾	Demi-seiche	1797 secondes.
	Seiche entière	3594 —

⁽¹⁾ Bodensee. Querprofile aufgenommen von Major v. Gasser, 1826, cité dans Rutimeyer. Thal u. Seebildung, p. 58. Bâle 1869.

⁽²⁾ Les valeurs moyennes que j'ai calculées pour les seiches de ces lacs suisses autres que le Léman, sont tirées d'observations peu nombreuses. Ces moyennes sont le plus souvent fort peu certaines. Dans le but de reconnaître la valeur relative de ces moyennes, j'en ai calculé d'après la formule $E = \sqrt{\frac{\sum o}{n(n-1)}}$

D'après la situation de ma station les belles oscillations dont j'ai ainsi mesuré la valeur étaient des seiches longitudinales du lac. La-dessus il n'y a pas de doute pour moi; mais il est une question que je n'ai pas pu résoudre, c'est la suivante: quel était le point à l'autre extrémité du lac où se faisait l'oscillation inverse de la seiche?

En effet le lac de Constance comme le lac Léman présente dans sa longueur un rétrécissement fort évident. De Bregenz à la ligne qui joint Constance et Meersburg il est large et régulier comme la partie connue sous le nom de Grand lac dans le Léman. Mais près de Constance le promontoire sur lequel est bâtie les villages d'Allmannsdorf et de Staad rétrécit tellement le lac que la partie qui s'étend jusqu'à Ludwigshafen peut être considéré comme un véritable golfe. Le lac d'Ueberlingen, comme on l'appelle, forme-t-il au point de vue des seiches la continuation du lac de Constance, et l'eau oscille-t-elle entre Bregenz et Ludwigshafen; ou bien le mouvement de balancement vient-il se butter contre le cap de Staad et l'eau oscille-t-elle entre Bregenz et Constance? C'est ce qui pourra facilement être reconnu par quelques observations ultérieures⁽¹⁾. Pour le moment je ne puis résoudre la question

l'erreur moyenne, ou l'erreur à craindre sur la moyenne. Ces valeurs je ne les donne pas ici dans les détails des observations; on les trouvera dans le tableau qui résumera ces diverses expériences à la fin de ce paragraphe.

(¹) Je regrette de n'avoir pas pu élucider plus à fond cette question. En effet, là se trouvera peut être, dans des conditions plus simples, l'explication des seiches compliquées du Léman. Les deux lacs sont, ainsi que je viens de le dire, assez semblables par l'existence dans chacun d'eux d'un long appendice, le lac d'Ueberlingen et le lac de Genève; mais le lac de Constance est plus simple, son grand axe étant à peu près rectiligne, tandis que le grand axe du lac Léman forme un arc de cercle très pro-

et dois laisser indécise la longueur du mouvement d'oscillation de mes seiches du 14 septembre. Si le mouvement se prolongeait jusqu'à Ludwigshafen la longueur des ondulations était de 64,8 kilomètres; s'il s'arrêtait au contraire à Constance, elle n'était plus que de 47 kilomètres.

Nous aurons à étudier plus loin l'influence de la profondeur du bassin sur la durée des seiches. Le rapport de la profondeur à la longueur est de 1:235 si le lac doit être considéré comme s'étendant jusqu'à Ludwigshafen; ce rapport est de 1:170 si au point de vue des seiches le lac s'arrête à Constance.

II. Lac de Neuchâtel.

Longueur totale 38,2 kilomètres.

Profondeur maximale 144 mètres ⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur 1:265.

Exp, LXXIII.

YVERDON.

29 déc. 1873.

Station à l'embouchure de la Thièle, rive droite, de 10 h. 30 à 11 h. 55 du matin.

Il souffle une bise violente et glacée, des vagues énormes rendent l'observation très difficile et très peu précise.

noncé. Peut-être pourra-t-on constater deux ordres de seiches longitudinales dans le lac de Constance, oscillant les unes de Bregenz à Constance, les autres de Bregenz à Ludwigshafen; peut-être pourrons-nous leur comparer deux ordres de seiches longitudinales dans le lac Léman, oscillant les unes de Villeneuve à Yvoire, les autres de Villeneuve à Genève; peut-être aurons-nous ainsi l'explication des seiches de 2242 (1096) secondes que nous avons observées à Veytaux, et des seiches de 4534 secondes que nous avons reconnues à Evian et Morges. Toutes ces suppositions ne pourront être éclaircies que par une étude ultérieure plus complète.

(¹) Carte du fond des lacs de Neuchâtel et de Morat, par Guyot et H. de Pourtalès-Gorgier. 1815.

Je donne, fig. 90, une partie de l'observation qui pourrait se lire comme suit : Seiches très longues de 45 minutes environ de durée, brodées d'oscillations de second ordre de 10 minutes environ. Mais je préfère renoncer à interpréter par des chiffres cette observation.

Exp. LXXIV.

YVERDON.

29 déc. 1873.

Station dans la Thièle au-dessous du pont du chemin de fer, sur la rive gauche, de 1 h. 30 à 4 h. 05 du soir.

La bise est devenue tellement furieuse que je ne puis aller m'établir au bord du lac. L'effet des lames se fait encore sentir jusqu'à ma station, dans l'intérieur de la Thièle à 500 mètres environ de son embouchure dans le lac. L'observation est aussi mauvaise que la précédente ; elle pourrait s'interpréter de même, mais je préfère en donner simplement la représentation graphique (fig. 91) sans essayer de la traduire en chiffres.

Exp. LXXV.

YVERDON.

25 sept. 1874.

Station au bord du lac à l'embouchure de la Thièle, rive droite, de 6 h. 45 à 9 h. 30 du matin.

Temps splendide, calme plat, seiches très évidentes, de 1 à 2 centimètres d'amplitude, sans oscillations secondaires.

Voici le détail de mes observations :

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 74.	—	805 secondes.
	770 secondes.	900 —
	1985 —	910 —
	1010 —	480 —
	700 —	825 —
	805 —	—

Tous ces mouvements sont fort réguliers et oscillent fort bien. Une seule ondulation me semble sujette à caution, c'est la seconde seiche haute de 1985 secondes. Elle diffère tellement par sa durée des autres demi-seiches qu'après examen je crois devoir l'expliquer en supposant qu'une oscillation entière aurait échappé au plémyramètre. Je compterai donc cette demi-seiche comme signifiant 3 demi-oscillations, et j'obtiendrai alors les valeurs moyennes suivantes :

Demi-seiche	766 secondes.
Seiche entière	1532 —

Exp. LXXVI. LA TÈNE. 14 octobre 1874.

Station établie à la Tène à l'extrémité nord du lac près de la sortie de la Thièle, émissaire du lac de Neuchâtel, de 9 h. 20 à 11 h. 50 du matin.

Brouillard, calme plat, seiches très belles, de 2 à 3 centimètres, sans oscillations de second ordre.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 75.	1550 secondes.	1585 secondes.
	1175 —	1300 —
	1590 —	—

Je prendrai la moyenne avec les chiffres de l'observation suivante.

Exp. LXXVII. PRÉFARGIER. 14 oct. 1874.

Station établie dans le port de Préfargier à 2 kilomètres de l'extrémité nord du lac, de 1 h. 45 à 3 h. 55 du soir.

Temps splendide, calme plat, très belles seiches sans oscillations accessoires.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 76.	—	1410 secondes.
	1425 secondes.	1440 —
	1635 —	—

Si je prends la valeur moyenne de ces deux dernières observations je trouve : Demi-seiche 1422 secondes.

Seiche entière 2844 —

Ce chiffre diffère très notablement de celui que m'avait donné l'expérience LXXV soit 1532 secondes. Cette différence ne provient pas de ce que ces dernières observations ont été faites dans une localité différente que l'observation LXXV, car pendant que j'observais à Préfargier, M. Rey suivait avec un plémyramètre les seiches à Yverdon, ainsi qu'il sera dit plus bas, et obtenait des chiffres semblables mais inverses à ceux que me donnait les seiches de Préfargier.

D'un autre côté les conditions générales semblaient identiques. Temps splendide, calme plat, seiches très fortes et très faciles à observer. Je crois qu'il faut admettre les observations comme bonnes et constater que la durée des seiches était plus forte, de près du double le 14 octobre que le 25 septembre.

J'étais cependant intrigué par cette différence de durée, et dans le but de vérifier quel est le chiffre normal, la valeur qui exprime la durée ordinaire des seiches longitudinales du lac de Neuchâtel, j'y suis retourné dernièrement et y ai fait l'observation suivante :

Exp. LXXVIII.

YVERDON.

4 mars 1875.

Station établie dans la Thièle, comme pour l'exp. LXXIV. Bise moyenne, seiches très belles, peu de demi-oscillations, de 10 h. 30 à midi 40 minutes du matin.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 77.	2110 secondes.	1170 secondes.
	1360 »	1440 » ⁽¹⁾
	980 »	

⁽¹⁾ Pour la valeur de cette seiche basse je la compte de 11 h.

Quoiqu'il y ait eu un peu plus d'irrégularité dans la durée des demi-seiches de cette observation que dans celles des observations précédentes, cependant la moyenne que j'en obtiens, 1412 secondes, est tellement voisine du chiffre de 1422, que m'ont donné les seiches du 14 septembre 1874, obs. LXXVI et LXXVII, et même du chiffre de 12 minutes que l'on peut tirer des seiches du 29 décembre 1873, obs. LXXIII et LXXIV, que je suis engagé à comparer ces trois séries de valeurs. La moyenne que je tire de 14 demi-seiches de ces observations est de 1420 secondes. Ce qui donne pour la seiche entière la valeur de 2840 secondes que j'admettrai comme la durée des seiches longitudinales normales du lac de Neuchâtel.

Mais nous avons les seiches du 25 septembre 1874, observation LXXV. Comment les expliquer?

Si dans un bassin régulier nous frappons l'eau à l'une des extrémités par des coups réguliers et suivant un certain rythme, nous déterminons les vagues de balancement que nous avons appelées seiches dans nos lacs, vagues d'oscillation fixe simples, avec deux ventres de mouvement aux deux extrémités du bassin, et un nœud au milieu. Mais si au lieu de frapper l'eau à l'une des extrémités, nous la frappons au milieu du bassin, nous pouvons obtenir une autre forme de vagues d'oscillation fixe, des vagues doubles; ces vagues seront plus courtes, elles n'auront que la moitié de la longueur des précédentes; elles présenteront trois ventres de vibration, un à chacune des extrémités et un au milieu; elles auront deux nœuds

58 à midi 22 minutes (voir fig. 77),—sans tenir compte des deux demi-seiches qui se sont dessinées au plémyramètre de 11 h. 58 à midi et 3 minutes. Ces deux demi-seiches je les attribue à des seiches de 11^e ordre, bien justifiées par la bise assez forte qui soufflait pendant l'expérience.

d'oscillation, un à chacun des quarts extérieurs de la longueur totale; enfin leur durée sera plus courte que celle des vagues que nous avons d'abord étudiées. Si je m'en rapporte aux chiffres que j'ai constatés dans mon bassin à expériences avec une longueur totale du bassin de 1^m 30, j'ai les valeurs suivantes pour la durée des vagues de balancement simples et doubles.

Profondeur d'eau.	Vague simple.	Vague double.
10 centimètres.	2.7 secondes.	1.3 secondes.
15 »	2.3 »	1.1 »
20 »	2.0 »	1.05 »
25 »	1.9 »	1.0 »
30 »	1.8 »	0.95 »

La durée de la vague double est donc à peu près la moitié de la durée de la vague simple dans les mêmes conditions de longueur et de profondeur d'eau.

Or, la durée relative de ces deux ordres de vagues est assez analogue à celles que j'ai trouvées dans les deux ordres de seiches du lac de Neuchâtel pour que je puisse me hasarder à proposer l'explication suivante :

Dans les expériences LXXV, LXXIV, LXXVI, LXXVII et LXXVIII, les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel, d'une durée moyenne de 2840 secondes, étaient des vagues d'oscillation fixe à deux ventres et à un nœud d'oscillation. C'étaient des *seiches simples*.

Dans l'expérience LXXV, les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel, d'une durée moyenne de 1532 secondes, étaient des vagues d'oscillation fixe à trois ventres et à deux nœuds d'oscillation. C'étaient des *seiches doubles*.

III. Lac de Thun.

Longueur totale, 17.5 kilomètres.

Profondeur maximale, 217 mètres⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur, 1 : 81.

Exp. LXXIX.

THUN.

22 sept. 1874.

Entre la Schadau et le village d'Egg, à l'extrémité occidentale du grand axe du lac, de 4 h. 25 à 6 h. 20 du soir.

Temps splendide, calme plat. Seiches très irrégulières. Je citerai quelques demi-seiches pour montrer le peu de régularité de ce rythme.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 78 et 79.	—	665 secondes.
	240 secondes.	670 »
	570 »	140 »
	215 »	200 »
	190 »	425 »

Exp. LXXX.

DÆRLIGEN.

23 sept. 1874.

Près de la station du chemin de fer du Bördeli, de 10 h. 40 à 11 h. 55 du matin (fig. 80).

Temps splendide, brise du lac.

Oscillations encore plus irrégulières que dans l'observation précédente.

Dans aucun des autres lacs suisses où j'ai étudié les seiches, à l'exception du lac Léman, je n'ai rencontré une telle irrégularité et un rythme aussi peu satisfaisant, nulle part je n'ai eu autant d'hésitation à indiquer la va-

⁽¹⁾ Tiefenkarte des Thunersees. Topograph. Bureau, Bern 1867.

leur moyenne des seiches. Cependant, pour continuer l'étude comparative que je fais actuellement, je l'estime pour les demi-seiches à 558 secondes, pour la seiche entière à 1116 »

Quelle est la cause de cette irrégularité dans les oscillations? Elle vient probablement de la forme relativement compliquée du lac qui, à son extrémité orientale présente un coude assez évident derrière le rocher du Naze. Cependant, sur la carte des sondages qu'a publiée en 1867 l'état-major fédéral, l'irrégularité est beaucoup moins apparente dans les fonds du bassin que dans sa surface.

Ainsi, tout en mettant un grand point d'interrogation au chiffre moyen que je donne pour les seiches du lac de Thun, je n'essaierai pas de donner l'explication de ce défaut d'exactitude.

IV. Lac de Wallenstadt.

Longueur totale 15,5 kilomètres.

Profondeur 114 mètres⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur 1 : 136.

Exp. LXXXI.

WEESEN.

18 sept. 1874.

Au bord du lac, devant l'hôtel du Schwert, à l'extrémité occidentale du lac, de 1 h. 55 à 3 h. 10 du soir.

Le föhn souffle très fortement depuis hier par rafales entremêlées de pluie violente. Le vent se dirigeant dans la vallée de W. en E, les vagues sont nulles dans la

(¹) La profondeur maximale de ce lac n'est pas connue avec certitude. Ce chiffre, que je dois à l'obligeance de M. Bodmer, de la maison Escher, Wyss et Cie, de Zurich, a été constaté dans la recherche du bateau à vapeur le Dauphin, naufragé il y a quelques années dans ce lac.

station où j'observe. Seiches très évidentes, très régulières et très fortes.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 81.	405 secondes.	365 secondes.
	535 »	455 »
	355 »	425 »
	415 »	540 »
	400 »	460 »

Ce mouvement est très évidemment rythmique et je puis facilement en tirer les moyennes de durée de

la demi-seiche	435 secondes.
la seiche entière	871 »

V. Lac de Brienz.

Longueur totale 13,7 kilomètres.

Profondeur maximale 261 mètres⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur 1 : 53.

Exp. LXXXII. BÖNIGEN. 23 sept. 1874.

Près de la station du chemin de fer, à l'embouchure de la Lütschine, de 7 h. 30 à 8 h. 50 du matin.

Temps splendide, calme plat. Seiches très nettes, très distinctes et très régulières.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 82.	245 secondes.	280 secondes.
	310 »	305 »
	320 »	295 »
	225 »	405 »
	170 »	355 »

⁽¹⁾ Tiefenkarte des Brienersees. Topograph. Bureau, Bern 1867.

C'est le mouvement, avec celui que nous venons de voir dans l'observation précédente sur le lac de Wallenstadt, le plus régulier et le plus rythmique que j'aie constaté dans les divers lacs de Suisse ; l'on y voit le rythme des seiches dans toute son élégance, oscillant avec une régularité des plus remarquables, régularité qui est sans doute due à la régularité même de ces deux lacs.

Les moyennes que je tire de ces observations sont :

demi-seiche	294 secondes,
seiche entière	588 »

VI. Lac de Morat.

Longueur totale : 9,2 kilomètres.

Profondeur maximale : 48 mètres⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur : 1 : 192.

Exp. LXXXIII.

LÖEWENBERG.

24 sept. 1874.

A l'angle oriental du lac, sur la grande grève prodigieusement plate qui s'étend au-dessous de Löwenberg et de Galmitz, de 10 h. 30 à 11 h. 40 du matin.

Temps splendide. Calme plat. Seiches assez nettes et bien prononcées, mais très irrégulières. A une ou deux reprises des demi-oscillations du flotteur.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 71.	450 secondes.	435 secondes.
	185 »	125 »
	260 »	305 »
	100 »	265 »
	485 »	360 »

⁽¹⁾ Atlas des minutes fédérales, f. 314, 1874.

Cette irrégularité dans les oscillations des seiches d'un lac de forme extérieure si régulière et dont le fond n'est pas très fortement accidenté ⁽¹⁾ tiendrait-elle à ce que ma station d'observation n'était pas placée sur l'axe même du lac, à ce que des seiches transversales seraient venues compliquer les mouvements d'oscillation du niveau du lac ? Je l'ignore, et je constate seulement cette irrégularité.

Les moyennes que je tire de mes observations sont :

Demi-seiche	286 secondes.
Seiche entière	572 »

VII. Lac de Joux.

Longueur totale : 9,0 kilomètres.

Profondeur maximale : 25 mètres ⁽²⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur : 1:360.

Exp. LXXXIV.

LE PONT.

3 août 1874.

Station sur la rive gauche du lac, près du canal de communication avec le lac Brenet, le 3 août, de 11 h. 30 du matin à midi 15 minutes (fig. 69) et de 2 h. 05 à 4 h. 05 du soir (fig. 70).

Temps variable. Coups de vent peu forts, mais irréguliers. Seiches assez évidentes, mais irrégulières; quelques demi-oscillations.

	Seiche haute.	Seiche basse.
Fig. 70.	280 secondes.	495 secondes.
	150 »	330 »
	345 »	435 »
	270 »	270 »

⁽¹⁾ Je n'oublie cependant pas le mont sous lacustre démontré par les cartes de MM. Guyot et Gosset.

⁽²⁾ Mes sondages de 1874.

La valeur moyenne que je tire de ces observations est :

Demi-seiche 372 secondes.

Seiche entière 744 »

VIII. Lac de Bret.

Longueur totale : 1,1 kilomètre.

Profondeur maximale : 14 mètres⁽¹⁾.

Rapport de la profondeur à la longueur : 1 : 78.

Exp. LXXXIV *bis*. LAC DE BRET. 13 nov. 1874.

A l'extrémité nord du lac.

Temps splendide. Bise légère. Seiches très faibles. Ne pouvant pas espérer de rencontrer des différences de pression barométrique d'un bout à l'autre d'un lac aussi petit, j'essayai de m'adresser à des dénivellations dues à l'action du vent. Je me rappelais l'effet très évident du vent sur le port de Morges⁽²⁾; pourquoi n'en serait-il pas de même au lac de Bret?

Je me rendis donc à ce lac par un jour de bise assez violente, mais je fus trompé dans mon attente; car lorsque j'arrivai au lieu de l'observation le vent était presque entièrement tombé et les seiches étaient presque nulles. Le déplacement du flotteur dans le tube du plémyramètre était de 5 à 6 centimètres au plus pour chaque seiche.

Je pus cependant compter 14 demi-seiches dans une durée totale de 21 minutes et 5 secondes,

soit pour chaque demi-seiche 90 secondes,

pour la seiche entière 180 »

(1) D'après les ingénieurs de la société du chemin de fer pneumatique d'Ouchy à Lausanne.

(2) I^{re} étude, p. 23 sq.

Mais l'amplitude de ce mouvement était tellement faible et l'observation en était si difficile, que j'ai jugé nécessaire de répéter cette observation.

Exp. LXXXV.

LAC DE BRET.

1^{er} avril 1875.

Même station, mêmes conditions générales. La bise était plus forte que le 13 novembre, mais les seiches n'étaient pas beaucoup plus sensibles.

Le déplacement du flotteur étant très peu considérable, j'eus recours au procédé suivant, qui m'a permis de mesurer avec une grande netteté la durée des oscillations. J'ai rapproché les spirales d'arrêt qui, dans le siphon de mon plemiramètre, sont seulement distantes de 30 centimètres, et je les ai placées de telle manière que la course du flotteur ne fût plus que de 7 centimètres. Alors le flotteur, qui auparavant vacillait indécis à mi-longueur du tube, s'est mis à traverser rapidement la longueur du tube qui lui était réservée, et m'a donné des indications parfaitement nettes. J'ai fait ainsi l'observation que j'ai représentée graphiquement fig. 73. Dans un espace de temps de 1160 secondes j'ai constaté 36 demi-seiches, ce qui me donne les moyennes suivantes :

Demi-seiche	32 secondes.
Seiche entière	64 —

Cette valeur est beaucoup plus précise et plus sûre que celle de l'expérience précédente ; c'est elle que j'admets pour la durée des seiches du lac de Bret.

Résumons en un tableau les chiffres et les moyennes, que nous avons trouvées dans l'étude qui précède de la durée des seiches longitudinales dans des lacs de dimensions différentes.

LAC	LONGUEUR Kilomètres	PROFON- DEUR Mètres	Rapport de la profondeur à la longueur	Nombre de demi- seiches observées	Durée moyenne de la demi- seiche Secondes	Erreur ⁽¹⁾ moyenne Secondes	Durée moyenne de la seiche entière Secondes
de Bret	1.1	14	1:78	36	32	—	64
de Joux	9.0	25	1:360	24	372	± 31	744
de Morat	9.2	48	1:192	17	286	± 33	572
de Brienz	13.7	261	1:53	16	294	± 16	588
de Wallenstadt	15.5	114	1:136	10	435	± 20	871
de Thun	17.5	217	1:81	15	—	—	1116 (?)
de Neuchâtel .	38.2	135	1:283	12	766	± 41	1532
				14	1420	± 75	2840
de Constance .	47.0	276	1:170	5	1797	± 214	3594
	64.8		1:235				
Léman	70.	334	1:209				4534 (?)

(1) Dans cette colonne j'ai indiqué l'erreur moyenne sur la valeur des demi-seiches, calculée comme il est dit plus haut. La valeur de cette erreur moyenne montre le degré de précision qu'on peut demander à ces observations, en petit nombre, et souvent assez dissemblables faites le plus souvent en une seule séance dans chaque localité. Le degré d'approximation est sou-

Pour étudier ce tableau, faisons d'abord abstraction de la dernière ligne, où j'ai introduit comme terme de comparaison la valeur hypothétique des seiches longitudinales du lac Léman.

J'ai fait suivre de points d'interrogation la valeur moyenne de la durée des seiches du lac de Thun, pour les raisons que j'ai développées plus haut; pour le lac de Neuchâtel je donne les deux valeurs moyennes des deux séries d'observation; pour le lac de Constance je donne les deux longueurs possibles de Bregenz à Constance et de Bregenz à Ludwigshafen; je ne sais laquelle de ces deux valeurs représente la longueur de la vague de balancement le jour de mon observation.

En instituant toutes les expériences qui sont résumées dans ce tableau, j'ai eu toujours soin d'aller m'établir aussi près que possible de l'extrémité du grand axe ou du grand diamètre du lac, de telle manière que j'eusse, avec autant de sûreté que faire se pouvait, les seiches longitudinales du lac. Je puis donc considérer les valeurs que j'ai comme représentant la durée de la seiche longitudinale de ces lacs.

Ceci expliqué, le tableau nous montre un rapport très évident entre la longueur du lac et la durée des seiches, les deux séries se suivent dans la même direction. C'est le fait que j'avais énoncé dans ma première étude, lorsque je cherchais les lois de l'oscillation du balancement, et

vent très éloigné, et ce n'est qu'en multipliant les observations que l'on se rapprochera d'une moyenne plus sûre et plus exacte; j'en citerai comme exemples les seiches transversales de Morges chez lesquelles l'erreur moyenne n'est plus, grâce au grand nombre de mes observations, que de ± 9 secondes sur une valeur de 345 secondes pour la durée de la demi-seiche.

que j'avais formulé dans ces termes : « La durée de la vague augmente avec la longueur du bassin. » Je puis aujourd'hui l'exprimer ainsi : « La durée des seiches longitudinales est fonction directe de la longueur des différents lacs. »

En étudiant les lois de l'oscillation de balancement, j'avais constaté l'influence de la profondeur de l'eau sur la durée de la vague. Quand l'eau du bassin est très profonde par rapport à sa longueur, la vague de balancement n'est pas sensiblement influencée dans sa durée par la plus ou moins grande profondeur de l'eau ; mais si l'eau devient peu profonde, alors la vague de balancement se ralentit et cela dans des proportions très fortes. Je rappellerai les chiffres que j'ai trouvés dans mon bassin de 1^m.30 de longueur.

Profondeur de l'eau.	Rapport de la profondeur. à la longueur du bassin	Durée de la vague.
Centimètres.		Secondes.
35	1 : 3	1.60
30	1 : 4	1.67
25	1 : 5	1.80
20	1 : 6	1.95
15	1 : 8	2.20
10	1 : 13	2.56
5	1 : 26	3.65

Quand la profondeur est peu considérable le mouvement de l'eau est fort ralenti.

Or, si le ralentissement dû au peu de profondeur de l'eau est déjà sensible dans mon bassin lorsque la profondeur est à la longueur dans les rapports de 1 est à 5, 6, 8, 13 et 26, que sera-ce lorsque cette proportion deviendra plus faible, quand dans le lac de Brienz elle

s'abaissera à 1 : 53 dans les lacs de Thun et de Wallens-tadt. 1 : 81 et 136 et surtout dans les lacs de Morat, de Neuchâtel et de Joux 1 : 192, 283 et 360.

Comme en définitive la profondeur des lacs est dans un rapport toujours très faible vis à vis de leurs dimensions horizontales, nous aurons donc toujours à faire intervenir l'influence du peu de profondeur de l'eau, et nous pourrions formuler ainsi la loi de la durée des seiches longitudinales des lacs.

« La durée des seiches longitudinales est fonction directe de la longueur des différents lacs et fonction inverse de leur profondeur. »

Enfin ce tableau en nous montrant l'importance de la longueur du bassin d'une part et du peu de profondeur de l'eau d'une autre part sur la durée des seiches, tend à confirmer l'hypothèse que les seiches sont bien des vagues de balancement des lacs.

D'un autre côté, ce tableau aura pour nous un intérêt pratique très important, de la manière suivante :

Nous pouvons en déduire, avec une approximation très éloignée il est vrai, et sans tenir compte de l'influence de la profondeur, quelle est la durée de la seiche correspondante à un lac d'une longueur donnée ; nous pouvons en déduire en sens inverse la longueur kilométrique probable d'une seiche dont nous connaissons la durée. Or, nous avons vu dans le lac Léman des seiches diverses, à durées et à rythmes différents ; nous chercherons en les mettant en regard de ce tableau, à déterminer la longueur probable des vagues d'oscillation fixe dont nous avons étudié la durée.

Nous avons d'abord nos seiches de 1^{er} ordre de Morges

et Evian d'une durée moyenne de 4534 secondes. Cette durée est supérieure à la durée des seiches les plus longues des lacs qui nous servent de point de comparaison; le lac de Constance, avec ses 65(47) kilomètres de longueur, a une durée de seiches de 3594 secondes seulement. Nous pouvons donc sans trop de difficultés attribuer ces longues seiches de 1^{er} ordre, de 4534 secondes de durée aux seiches longitudinales du lac Léman ⁽¹⁾; la longueur totale de ce lac, en suivant la courbe de son grand axe est de 70 kilomètres environ.

Nous avons ensuite les seiches de Veytaux dont la durée moyenne oscille autour de 1096 et 2242 secondes. Ces durées sont voisines de celles que nous avons trouvées dans le lac de Neuchâtel ⁽²⁾, 1532 et 2840 secondes. Le lac de Neuchâtel ayant 38 kilomètres, si je cherche

(1) Je ne puis m'empêcher d'élever les objections suivantes à cette attribution qui semble au premier abord si naturelle. En premier lieu je me demande si le mouvement de balancement de l'eau peut se faire suivant une ligne courbe comme l'est le grand axe du lac Léman, si l'essence de ce mouvement d'oscillation n'est pas de ne pouvoir s'établir que suivant une ligne droite. Dans ce cas, le plus long diamètre en ligne droite sur le lac Léman étant de Villeneuve à Nyon (50 kilomètres de longueur), les seiches dont nous nous occupons devraient osciller suivant cette ligne. Ma seconde objection est tirée de la durée de quelques seiches observées à Genève; les seiches de Vaucher ont une durée moyenne de 1590 secondes, les seiches de Saussure, du 3 août 1763, une durée moyenne de 1350 secondes. Ces observations ne sont pas nombreuses, mais elles indiquent cependant une durée absolument différente et beaucoup plus courte que celle des seiches de 4534 secondes dont nous nous occupons et nous devrions en conclure que nos seiches de 1^{er} ordre d'Evian et de Morges ne sont pas observables à Genève.

Ces objections que je me fais à moi-même montrent que la question doit être reprise à l'aide de nouvelles observations.

(2) Je ne parle pas des seiches du lac de Thun dont la valeur a trop peu de sécurité pour moi.

dans le lac Léman une longueur possible qui se rapproche de celle-là, je trouve la distance de Chillon à Yvoire soit la longueur du Grand lac, ou lac Léman proprement dit, qui est de 44 kilomètres environ. Le lac de Neuchâtel étant moins profond que le Léman, la plus grande durée de ses seiches serait explicable. Les seiches de Veytaux oscilleraient donc de Chillon à Yvoire.

Nous avons enfin les seiches normales de Morges que nous avons retrouvées à Evian ; leur durée de 630 secondes est intermédiaire à la durée des seiches des lacs de Brienz (588) et de Wallenstadt (871 secondes). La longueur de ces lacs est pour le premier de 13,7 kilomètres, pour le second de 15,5. Nous pouvons donc attribuer à nos seiches de Morges une longueur probable de 14 kilomètres. Or, la largeur du lac Léman de Morges à Amphion est précisément de 13,8 kilomètres ; nous pouvons donc avec une assez grande sécurité, car mes observations des lacs de Brienz et de Wallenstadt sont parmi les meilleures, admettre que les seiches de Morges de 630 secondes oscillent d'une rive à l'autre du lac, et sont par conséquent les seiches transversales du Léman.

Si cette dernière comparaison est exacte, et nous n'avons aucune raison de la mettre en doute, nous pourrions étendre aux seiches transversales la loi déterminée pour les seiches longitudinales, et en généralisant dire :

La durée des seiches est fonction directe de la longueur et fonction inverse de la profondeur de la section de lac suivant laquelle elles oscillent.

V.

**Etude simultanée des seiches aux deux extrémités
du lac de Neuchâtel.**

Si nous plaçons deux observateurs aux deux extrémités de l'un des diamètres d'un lac, et s'ils peuvent constater que l'eau s'élève d'un côté pendant qu'elle s'abaisse à l'autre bout, nous aurons une démonstration décisive, me semble-t-il, de la vérité de l'hypothèse qui fait des seiches les vagues d'oscillation fixe ou les vagues de balancement des lacs.

C'est cette démonstration que nous avons tentée dans les conditions suivantes :

J'ai choisi le plus grand des lacs à forme régulière, celui qui m'avait donné les mouvements de seiche les plus rythmiques, le lac de Neuchâtel, et j'en ai étudié les seiches longitudinales.

EXP. LXXVI (*bis*). YVERDON ET LA TÈNE. 14 oct. 1874.

Mon ami M. G. Rey, instituteur au collège de Morges, est allé s'établir à l'extrémité sud du lac de Neuchâtel, à Yverdon, à droite de l'embouchure de la Thièle.

Moi-même, je suis allé m'installer à l'extrémité nord du même lac, à côté du célèbre palafitte de la Tène, à quelques centaines de mètres de la sortie de la Thièle, émissaire du lac.

Nous étions munis l'un et l'autre d'un plémyramètre en bon état, et nos montres à secondes étaient soigneusement réglées.

Les observations ont marché simultanément de 11 heures à midi.

Calme plat. Brouillard intense sur le lac. Seiches très nettes et très marquées.

Voici les deux séries d'observations. J'indique en les faisant précéder des lettres *B* et *L*, l'heure où le flotteur, décollé par le courant de la seiche, après avoir traversé toute la longueur du tube, venait se coller à l'arrêt du bassin (*B*) et du lac (*L*). La lettre *B* indique ainsi le commencement de la seiche haute, la lettre *L* de la seiche basse.

STATION DE LA TÈNE.

L 11^h 04' 10''*B* 11 25 50*L* 11 52 20

STATION D'YVERDON.

B 11^h 03' 40''*L* 11 28 35*B* 11 51 00

La figure 84 donne mieux encore que les chiffres les allures des seiches.

EXP. LXXVII (*bis*). YVERDON et PRÉFARGIER. 14 oct. 1874.

Dans l'après-midi du même jour, la même expérience fut reprise. M. Rey observait à la même station que le matin. Quant à moi, après avoir reconnu que les seiches magnifiques que j'avais vues le matin à la Tène devaient être sensibles bien loin de l'extrémité même du lac, je m'établis dans le petit port de Préfargier.

STATION DE PRÉFARGIER.

L 2^h 20' 00''*B* 2 38 30*L* 3 02 15*B* 3 26 15*L* 3 53 30

STATION D'YVERDON.

B 2^h 25' 10''*L* 2 37 15*B* 2 48 55*L* 3 26 20*B* 3 50 20

La figure 83 représente graphiquement cette expérience.

Ces deux expériences ont parfaitement bien réussi et me semblent très probantes. Sur huit mouvements différents, sept donnent une alternance directe et une simultanéité presque absolue dans les mouvements ; les différences de deux à quatre minutes pourraient parfaitement s'expliquer par le jeu différent des plémyramètres, si l'on ne voulait pas donner cette latitude au mouvement lui-même des seiches. Une seule lecture, celle de 2^h 48' 55" d'Yverdon et de 3^h 02' 15" de Préfargier, ne montre pas cette simultanéité, le mouvement d'Yverdon précédant de plus de treize minutes celui de Préfargier. Mais, d'une part, la paresse d'un plémyramètre, dont le flotteur peut être arrêté par un grain de sable, d'une autre part, les réflexions d'onde, les seiches transversales, expliquent si facilement cette irrégularité, que, tout en la constatant, nous ne nous laisserons pas arrêter par elle, et nous concluons :

Dans les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel, le 14 octobre 1874, il y avait alternance et simultanéité des mouvements de l'eau aux deux extrémités du lac.

VI.

Etude simultanée des seiches sur les deux rives du lac Léman.

Nous avons constaté, dans le paragraphe précédent, que l'hypothèse des vagues de balancement se vérifiait brillamment dans les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel ; qu'il y avait, le jour où nous avons expérimenté, alternance et simultanéité dans les mouvements de l'eau aux deux extrémités du lac.

Nous avons essayé de donner la même démonstration pour les seiches transversales du lac Léman ; mais nous n'avons pas aussi bien réussi. Pendant cinq expériences embrassant une durée de plus de onze heures, nous avons observé simultanément deux plémyramètres de construction semblable, l'un à Morges, que M. G. Rey a surveillé avec une patience et une persévérance pour lesquelles je suis heureux de lui témoigner ici ma reconnaissance, l'autre à Evian, où j'observais moi-même.

Le résultat de ces expériences simultanées sur les deux rives du lac, a été très irrégulier et assez peu net ; au premier abord, il semble même plutôt négatif et contraire à ma théorie des seiches transversales. Cependant, par une étude attentive de ces observations, l'on arrive à voir qu'elles sont toutes explicables et ne s'opposent point à mon hypothèse.

Mais, je le reconnais, ces expériences sont loin d'être assez nettes et assez précises pour que je puisse les tenir pour démonstratives, et je demande, pour cette question des seiches transversales, de nouvelles séries d'observations.

Fidèle au principe que je me suis imposé de publier mes observations, qu'elles soient favorables ou non à mes théories, je donnerai d'abord rapidement le résumé de ces quelques expériences ; elles sont du reste instructives à plus d'un titre.

EXP. LXXXVI. MORGES et EVIAN. 30 sept. 1874.

Stations : à Morges, sur la grève, devant mon jardin ;
A Evian, à l'extrémité orientale du jardin anglais.

De 7 à 9 heures du matin.

Temps splendide ; légères brises.

A Morges, seiches nulles ou presque nulles. Les mou-

vements étaient si mal indiqués que je ne puis pas même en donner la représentation graphique.

A Evian, très belles seiches de premier ordre, brodées de demi-oscillations correspondant à des seiches de deuxième ordre (voir fig. 66).

EXP. LXXXVII.

MORGES et EVIAN.

30 sept. 1874.

Morges, même station.

Evian, sur la grève du lac, à un kilomètre d'Evian, entre Evian et Amphion.

De 10 à 1 heure (fig. 86).

Même temps.

A Morges, l'observation n'a commencé qu'à 11 heures et a donné des seiches très faibles et mal indiquées, le plus souvent seulement des demi-oscillations.

A Evian, de 10 heures à midi et demie, les grandes oscillations des seiches de premier ordre, et de midi et demie à une heure, les seiches de deuxième ordre que j'ai déjà représentées dans ma figure 68.

Les observations de ces seiches de Morges et d'Evian, mises en regard les unes des autres, comme je l'ai fait dans ma figure 86, paraissent très bonnes; on y voit, me semble-t-il, très nettement cette opposition et cette simultanéité des mouvements que nous avons constatées dans les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel. Cela est très évident de 11^h 26' à midi et de midi et demie à midi 48 minutes.

Je puis donc compter au profit de ma théorie cette observation, qui est très démonstrative. Mais, malheureusement, ces rapports dans les mouvements ne se retrouvent pas aussi bien dans les autres expériences.

EXP. LXXXVIII.

MORGES et EVIAN.

30 sept. 1874.

Mêmes stations.

De 2 à 4 heures (fig. 87).

Même temps.

A Morges, seiches normales de deuxième ordre.

A Evian, seiches de premier ordre.

Il n'y a aucun rapport dans les mouvements.

EXP. LXXXIX.

EVIAN.

16 janvier 1875.

Cette expérience n'a pu être faite à la fois des deux côtés du lac, le temps étant trop mauvais à Morges pour que M. Rey ait pu faire des observations utiles.

Station à Evian, comme dans les expériences précédentes.

De 1^h 50' à 4 heures.

Vent du midi ; pluie.

J'ai représenté, figure 65, les seiches de cette expérience, et je la cite dans cette série, quoique l'observation n'ait pas été bilatérale, car elle montre avec plus de netteté qu'aucune autre l'existence à Evian de seiches courtes et rapides, différant totalement de ce que nous avons vu à Veytaux et de ce que Vaucher a décrit à Genève, ressemblant au contraire d'une manière frappante à nos seiches normales de Morges, nos seiches de 630 secondes.

EXP. XC.

MORGES ET ÉVIAN.

9 février 1875.

Mêmes stations que dans les expériences précédentes.

De 1^h 40 à 4 heures (fig. 85).

A 2 heures survient un violent coup de vent du sud qui a considérablement gêné les observations.

A Morges, les seiches ont très bien été observées par

M. Rey, de 1^h 50 à 2^h 15, et de 2^h 50 à 3^h 30. Seiches courtes et rapides, seiches de deuxième ordre ; quelques-unes même plus courtes encore, et rappelant les seiches de 264 secondes du port de Morges, ou seiches de III^e ordre.

A Evian, les observations sont mauvaises ; les vagues sont devenues si fortes que à partir de 2 h. 10 j'ai été obligé de transporter mon plémyramètre dans une anse à l'abri d'une jetée. A 2 h. 50, l'observation reprit dans des conditions défavorables, mais cependant suffisantes. Longue seiche basse de 1^{er} ordre, brodée de demi-oscillations de seiches de II^e ordre.

De 3 h. à 3 h. 30 l'observation a marché simultanément à Evian et à Morges. A Morges, M. Rey avait de jolies seiches normales, à Evian je n'avais que des demi-oscillations. La durée de ces mouvements était la même ; dans les deux localités j'ai eu 4 seiches entières. Les mouvements ont été simultanés et opposés pour leur direction dans les trois premières seiches, autant du moins que j'en puis juger par les observations défectueuses des demi-oscillations d'Evian. En effet, ainsi que je l'ai exposé plus haut, quand je suis en présence de demi-oscillations, je ne puis pas noter le moment où commence le mouvement ; je ne connais que le moment où le flotteur revient se coller à l'arrêt qu'il avait quitté ⁽¹⁾. Or, dans ces trois seiches à 3 h. 03, à 3 h. 11 et à 3 h. 17, l'instant où le flotteur du plémyramètre d'Evian revenait toucher l'arrêt L (du côté du lac) coïncidait presque exactement à l'ins-

(¹) Dans ma figure 85, j'ai changé un peu mon mode habituel de représentation des demi-oscillations, de manière à n'indiquer que le moment précis et bien observé où le flotteur revenait se coller à l'arrêt.

tant où le flotteur de Morges arrivait à l'arrêt *B* (côté du bassin). Il y a donc bien eu, conformément à la théorie, simultanéité et opposition dans les mouvements. Pour la quatrième seiche le mouvement a été retardé à Evian et ces rapports n'ont pas lieu régulièrement,

Du reste, l'observation était si difficile à cause du temps détestable et des vagues violentes du lac, que l'on ne peut pas demander plus à cette expérience.

Exp. XCI.

MORGES ET EVIAN.

9 mars 1875.

Mêmes stations, de 1 h. 30 à 4 h. (fig. 88).

Temps splendide. Calme plat. Baromètre en baisse, jolies seiches visibles aux courants du port de Morges. Conditions excellentes pour avoir des seiches magnifiques.

Malgré ces circonstances tout à fait favorables, le résultat de cette expérience est nul.

A Morges, les seiches ont été fort irrégulières; tellement que j'en suis à attribuer cette irrégularité à quelque accident dans le jeu du plémyramètre. Les observations semblent indiquer l'existence de seiches de II^e ordre, à partir de 3 h. 30 seulement.

A Evian, les seiches étaient très évidentes; mais leur rythme, assez irrégulier d'ailleurs, était fort singulier. La durée des demi-seiches variait entre 610 et 3030 secondes,

autour de la moyenne, demi-seiche	828	»
seiche entière	1758	»

Cette valeur ne se rapporte sur notre lac, d'après ce qui m'est connu, qu'aux seiches de Veytaux dont j'ai déterminé la durée moyenne (abstraction faite de leur division en deux groupes) à 1783 secondes. Par suite de cette comparaison, je suis porté à admettre que pendant cette expérience j'observais à Evian les seiches de Veytaux,

seiches longitudinales du lac Léman proprement dit ou grand lac, oscillant de Chillon à Yvoire; de même que dans d'autres expériences à Evian (exp. LXXXVI, LXXXVIII, LXXXIX) et à Morges (fig. 48 à 55), j'ai observé les seiches de 1^{er} ordre, seiches longitudinales du lac oscillant de Chillon à Genève.

Quoiqu'il en soit, les seiches d'Evian n'avaient aucun rapport avec celles de Morges, sauf dans un court instant que je noterai plus bas, et les mouvements de l'eau sur les deux rives opposées du lac ne montraient ni concordance ni alternance.

Si nous résumons maintenant ces six expériences nous constatons :

1^o Que sur 14 heures, soit 840 minutes, pendant lesquelles j'ai observé les seiches à Evian, il n'y a que 490 minutes pendant lesquelles l'observation a simultanément été faite à Morges.

2^o Comme les seiches étaient nulles à Morges pendant l'expérience LXXXVI, il ne me reste que 390 minutes d'observation régulière.

3^o Sur ce temps, environ 200 minutes doivent encore être enlevées à l'observation utile. C'est le temps pendant lequel, dans une station ou dans l'autre, le plémyramètre ne dessinait que des seiches de 1^{er} ordre (exp. LXXXVIII, etc.), ou des seiches du type de Veytaux (exp. xci). Il reste, comme on le voit, bien peu de temps de bonne observation.

Or, si l'on veut bien suivre sur les tracés graphiques les moments où les petites seiches, soit seiches de 2^e ordre étaient à la fois sensibles à Evian et à Morges, l'on reconnaîtra les faits suivants :

Exp. LXXXVII, fig. 86. Une opposition presque parfaite pendant tout le temps de l'observation, opposition des mouvements aussi évidente et aussi nette que celle que nous avons vue sur le lac de Neuchâtel; toutes les fois que des demi-oscillations ou des oscillations entières étaient dessinées en même temps aux plémyramètres, toujours elles sont simultanées pour le temps, et opposées pour la direction des mouvements, à l'exception des seiches qui ont eu lieu de midi 45 à midi 55 minutes.

Exp. xc, fig. 85. De 3 h. à 3 h. 30 minutes les seiches très régulières de Morges et les demi-oscillations d'Evian correspondent d'une manière très nette pour la durée et les temps; autant qu'on en peut juger, dans l'insuffisance des observations faites à Evian, où je n'ai noté que des demi-oscillations, elles présentent aussi, pour trois seiches du moins l'opposition dans la direction des mouvements voulue par la théorie.

Exp. xci, fig. 88. De 1 h. 55 à 2 h., il y a eu deux demi-oscillations à Morges qui correspondaient très bien à une jolie seiche d'Evian, les deux mouvements étant opposés pour leur direction. Dans le reste de l'expérience il n'y a rien de reconnaissable et aucune concordance dans les mouvements de l'eau des deux côtés du lac; nous avons expliqué le fait en supposant que les seiches d'Evian se rapportaient à des seiches longitudinales du type des seiches de Veytaux, tandis que les seiches de Morges étaient tout simplement des seiches transversales (de 3 h. à 4 h.)

Les résultats de ces expériences sont trop peu évidents et trop peu faciles à déduire pour que je veuille en tirer aucune conclusion. Je ne crois pas que l'on puisse

en faire ressortir aucune objection sérieuse contre mon hypothèse des seiches transversales du Léman. Mais je reconnais la nécessité de nouvelles expériences plus claires et plus probantes.

Il reste cependant en faveur de mon hypothèse :

a. L'existence presque constante à Evian de seiches ressemblant par leurs allures à nos seiches normales de Morges.

b. L'expérience LXXXVII, fig. 86 tout entière.

c. L'expérience xc, fig. 85 en partie.

Les expériences que nous venons de décrire sont difficiles à mener à bonne fin. Malgré la bonne volonté et la complaisance infatigable de M. Rey, il nous a été impossible jusqu'à présent de les répéter plus souvent ; tantôt le temps défavorable, tantôt les occupations particulières de l'un de nous, venaient sans cesse se mettre à la traverse de ces expéditions.

Peut-être ferions-nous bien de les aller refaire sur d'autres lacs, sur un bassin plus régulier et moins tourmenté au point de vue des seiches que le lac Léman. Mais ici encore nous sommes arrêtés par une difficulté ; quel lac choisir ? Le lac de Neuchâtel, excellent pour les seiches longitudinales, ne vaudrait rien pour les seiches transversales ; en effet, il présente parallèlement à sa longueur un mont sous lacustre, la *Montagne* ou la *Motte*, dont le sommet n'est guère qu'à 9 ou 10 mètres de la surface et qui doit gêner considérablement le développement des vagues de balancement transversales⁽¹⁾. Les lacs de Brienz

(1) L'expérience pourrait cependant être tentée entre Concise et Yvonand ou Concise et Cheire, le mont n'existant pas encore dans cette partie du lac.

et de Wallenstadt sont bien étroits. Le lac de Constance sera probablement le bassin où cette expérience se reproduira le mieux.

Je livre cette étude aux méditations des riverains des lacs et je la leur recommande tout spécialement comme importante pour la théorie des seiches.

VII

Comparaisons et conclusions.

Jetons maintenant un regard en arrière et voyons si dans cette seconde étude nous avons gagné du chemin et quel chemin nous avons gagné.

Ce travail a tout entier été consacré à la durée des seiches. En mettant en jeu le plémyramètre, qui a fonctionné à souhait, j'ai pu rechercher les faits généraux de la durée des seiches et j'ai constaté les résultats suivants :

I. J'ai tout d'abord étudié d'une manière générale les seiches en utilisant les très nombreuses observations dont je dispose à Morges ; j'ai reconnu que les seiches sont soumises à un rythme véritable, oscillant dans des limites assez larges mais oscillant toujours autour d'une même moyenne.

II. Ce rythme des seiches est variable pour chaque lac, et même pour chaque localité d'un même lac ; il est différent à Morges et à Veytaux.

III. La durée moyenne des seiches de Morges est de 630 secondes.

IV. Ces mêmes seiches à durée moyenne de 630 secondes je les ai retrouvées à Evian, sur la rive gauche du lac Léman.

V. Les seiches du Léman, étudiées à Veytaux, à l'extrémité orientale du lac, ont montré un rythme beaucoup plus lent.

VI. Tout en étant plus lent, le rythme des seiches de Veytaux est moins régulier, et j'ai pu reconnaître deux ordres de seiches dont la durée moyenne oscille pour les unes autour de 1096 secondes et pour les autres autour de 2242 secondes.

VII. Je crois avoir reconnu les seiches du type de Veytaux dans mon expérience xci à Evian.

VIII. En analysant certaines observations de Morges et d'Evian, je suis arrivé à reconnaître, à côté des seiches normales de 630 secondes dont nous venons de parler, l'existence de très longues ondulations d'une durée moyenne de 4534 secondes. Je les ai appelées seiches de I^{er} ordre. Ces seiches de I^{er} ordre sont brodées par les seiches de 630 secondes que j'appelle seiches de II^e ordre.

IX. Cette notion de seiches d'ordres différents brochant les unes sur les autres m'a permis d'expliquer la différence de durée entre les seiches que j'ai étudiées à Morges au plémyramètre et dont la durée est de 630 secondes, et les seiches que, dans ma première étude, j'ai observées à l'aide des courants de l'embouchure du port. Ces dernières seiches de 264 secondes de durée moyenne je les appelle seiches de III^e ordre de Morges.

X. Passant à l'étude comparée des seiches longitudinales de divers lacs de dimensions différentes, j'ai obtenu le fait général suivant : La durée des seiches longitudinales est fonction de la longueur du lac.

J'ai reconnu aussi que probablement la durée des sei-

ches est influencée par la profondeur du lac, de telle manière que dans des lacs de même longueur, les seiches sont plus lentes dans le lac le moins profond.

XI. Ayant pu étendre aux seiches transversales la même notion, j'établis la formule des seiches dans les termes suivants :

« La durée des seiches est fonction de la longueur et de la profondeur de la section de lac suivant laquelle elles oscillent ; cette durée augmente directement avec la longueur et inversement avec la profondeur du lac. »

XII. J'ai pu utiliser les chiffres que m'a donné l'étude des seiches dans des lacs de longueur différente pour apprécier la longueur probable des seiches de durée différente que j'ai reconnues dans le lac Léman.

XIII. Nos seiches de Morges et Evian, seiches de II^e ordre, de 630 secondes de durée, sont des vagues d'oscillation fixe de environ 14 kilomètres de longueur. Le lac Léman ayant dans sa plus grande largeur 13,8 kilomètres, je suis donc fondé à faire de ces seiches les *seiches transversales* du lac Léman.

XIV. Les seiches de I^{er} ordre que nous avons reconnues à Morges et à Evian de 4534 secondes de durée ont une longueur supérieure à celle du lac de Constance, et doivent se rapporter probablement à la longueur totale du lac Léman qui est de 70 kilomètres environ en suivant l'axe courbe du lac. Ces seiches seraient donc les *seiches longitudinales* du lac Léman⁽¹⁾.

XV. Quant aux seiches que j'ai observées à Veytaux, la comparaison de leur durée avec celle des seiches longitu-

(1) Je renouvelle à cette occasion la réserve que j'ai expressément faite sur ce sujet à la page 103.

dinales du lac de Neuchâtel, m'amène à supposer qu'elles sont probablement des seiches longitudinales du Léman, mais oscillant, non pas de Chillon à Genève comme les précédentes, mais de Chillon à Yvoire.

XVI. J'ai admis et reconnu l'existence de seiches longitudinales et de seiches transversales oscillant suivant les diamètres longitudinal et transversal des lacs. Y a-t-il des *seiches obliques* qui oscilleraient suivant des diamètres autres que le grand et le petit diamètre du bassin? Je ne le crois pas. Je me fonde :

a. Sur l'expérimentation. Dans mon aquarium, bassin rectangulaire de 54 centimètres de longueur sur 34 de largeur, j'ai cherché à déterminer des vagues de balancement obliques, oscillant suivant la diagonale du rectangle ; je n'y suis pas arrivé, les vagues devenaient immédiatement ou longitudinales ou transversales.

b. Sur l'observation. Je ne connais rien dans les seiches de nos lacs qui m'autorise à admettre des seiches obliques.

XVII. En étudiant les seiches longitudinales du lac de Neuchâtel à l'aide de deux plémyramètres établis l'un à chaque extrémité du lac, j'ai constaté que les mouvements de l'eau étaient simultanés et opposés dans leur direction. L'eau montait à l'une des extrémités pendant qu'elle descendait à l'autre.

XVIII. Cette même étude faite simultanément sur les deux rives opposées du lac Léman ne m'a pas donné des résultats bien nets ; très souvent les seiches transversales étaient masquées à Evian par des seiches du type des seiches longitudinales. Mais toutes les fois que j'ai pu observer en même temps à Morges et à Evian des seiches

du rythme de 630 secondes que j'estime être les seiches transversales, j'ai constaté simultanée et opposition dans la direction des mouvements de l'eau.

XIX. Il est un résultat général qui ressort de toutes ces recherches; c'est la constance des seiches. Partout où j'ai mis en jeu mon plémyramètre et toujours, j'ai vu l'eau animée de ce mouvement rythmique d'élévation et d'abaissement. Sans nier la possibilité de l'état de repos, je change donc l'ancienne formule qui faisait des seiches un phénomène accidentel, en une définition qui les considère comme un phénomène naturel, constant et continu, dont la cessation ou l'absence serait le cas accidentel ou anormal. Ces seiches qui oscillent toujours sont parfois bien faibles, leur amplitude atteint souvent quelques millimètres à peine, n'atteint pas même un millimètre dans certaines circonstances; mais quelque faibles qu'elles soient, elles présentent toujours leur rythme normal.

XX. Ma dernière conclusion enfin sera que les seiches ne sont pas un phénomène local, mais un mouvement considérable et très étendu. Quand je vois l'eau s'élever et s'abaisser sur la grève de mon jardin, je ne suis pas en présence d'une simple vague qui agite l'eau dans le golfe de Morges, mais j'observe une des manifestations d'un phénomène bien autrement grandiose. C'est toute l'eau du lac qui oscille dans un même mouvement général de balancement, c'est une impulsion gigantesque qui dans le même instant fait mouvoir toute la masse liquide du Léman, dans toute sa longueur, dans toute sa largeur, dans toute sa profondeur. Et si je considère la grandeur des lacs où j'ai constaté ce mouvement, les lacs de Neuchâtel, de Constance, le lac Léman, si j'admets comme

probable qu'on le constatera de même, quand on voudra l'observer, dans des bassins d'eau encore bien plus étendus, je dois reconnaître dans le phénomène des seiches le mouvement oscillatoire le plus considérable et le plus grandiose peut être que l'homme puisse étudier à la surface de notre globe.

Je terminerai en indiquant les points dont l'étude me semble importante pour l'avancement de l'histoire et de la théorie des seiches.

1^o Déterminer pour un nombre aussi grand que possible de localités diverses sur des lacs différents le rythme normal des seiches ⁽¹⁾.

2^o Déterminer avec autant de précision que possible la durée des seiches dont les conditions de longueur et de profondeur peuvent être connues ; en particulier les seiches longitudinales des lacs.

3^o Déterminer la formule de la durée des seiches en fonction de la longueur du lac et de la profondeur de l'eau.

4^o Répéter l'observation simultanée des seiches transversales sur les deux rives d'un même lac.

(1) Qu'il me soit permis d'adresser cette demande à tous les amis de l'histoire naturelle de nos lacs. Que chacun dans la localité où il demeure cherche à déterminer pour son lac et pour son port le rythme exact des seiches par un nombre suffisant d'observations. Quand ces matériaux seront collectés peut-être alors pourra-t-on en tirer d'une manière plus sûre et plus précise les lois de ces mouvements d'oscillation fixe.

Dans une prochaine étude je chercherai à déterminer la cause des seiches que j'attribuerai :

Pour les seiches normales, aux variations de la pression atmosphérique.

Pour certaines seiches anormales et accidentelles, à des secousses de tremblements de terre.

Pour les seiches de lacs et de bassins très petits, à l'action du vent.

Explication des planches.

PLANCHE VI.

Fig. 10. Le plémyramètre.

Fig. 11. Jeu du plémyramètre dans le cas de seiches simples ; ligne $m n o p$ tracé graphique des seiches $A B A'$, etc.

Fig. 12. Jeu du plémyramètre dans le cas de seiches de II^e ordre, $f g, f' g'$, brochant sur les seiches de I^{er} ordre.

$H H'$ tracé graphique de ces seiches.

Fig. 13. Jeu du plémyramètre par un temps de vagues.

PLANCHE VII A XI.

Dans cette planche et dans les planches suivantes l'échelle des temps est comptée à raison de 1 millimètre par minute. Les heures et les minutes sont indiquées par les chiffres au-dessus des tracés.

Fig. 14 à 47. Seiches normales de Morges, soit seiches de II^e ordre, seiches de 630 secondes de durée moyenne, seiches transversales du lac Léman.

Fig. 48 à 51 et 53 à 55. Seiches anormales de Morges dans lesquelles des seiches de I^{er} ordre ou seiches longitudinales du lac Léman forment le fond du dessin, sur lequel des seiches de II^e ordre se brodent sous la forme de demi-oscillations.

Fig. 55 (*bis.*) Seiches normales de Morges interrompues par quelques seiches rapides et courtes, seiches de III^e ordre.

Fig. 56 à 64. Seiches de Veytaux. Seiches longitudinales du lac Léman.

Fig. 65 à 68. Seiches d'Evian. Seiches longitudinales ou seiches de I^{er} ordre, brodées par des seiches transversales ou de II^e ordre.

Fig. 69 et 70. Seiches du lac de Joux.

Fig. 71. Seiches du lac de Morat.

Fig. 72. Seiches du lac de Constance.

Fig. 73. Seiches du lac de Bret.

Fig. 74 à 77. Seiches longitudinales du lac de Neuchâtel.

Fig. 78 à 80. Seiches du lac de Thun.

Fig. 81. Seiches du lac de Wallenstadt.

Fig. 82. Seiches du lac de Brienz.

Fig. 83 et 84. Seiches longitudinales du lac de Neuchâtel étudiées simultanément aux deux extrémités du lac.

Fig. 85 à 88. Seiches transversales du lac Léman étudiées simultanément sur les deux rives du lac.

Fig. 89. Seiches de Morges étudiées simultanément à l'aide du plémyramètre et des courants du port. Seiches de II^e et de III^e ordre.

Fig. 90 et 91. Seiches du lac de Neuchâtel par un jour de violente bise.



Fig. 10.

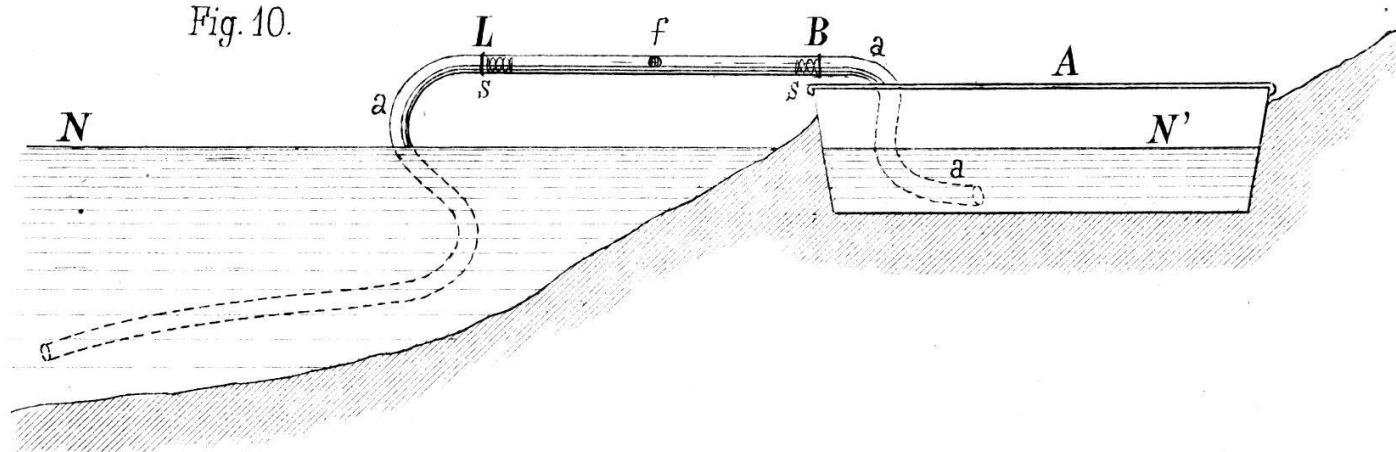


Fig. 11.

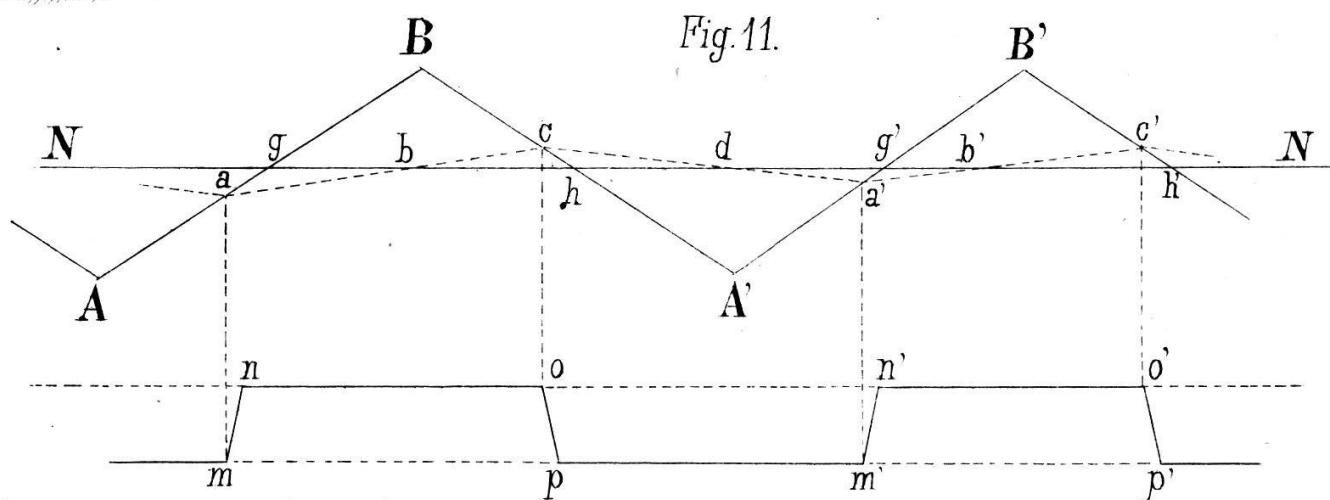


Fig. 12.

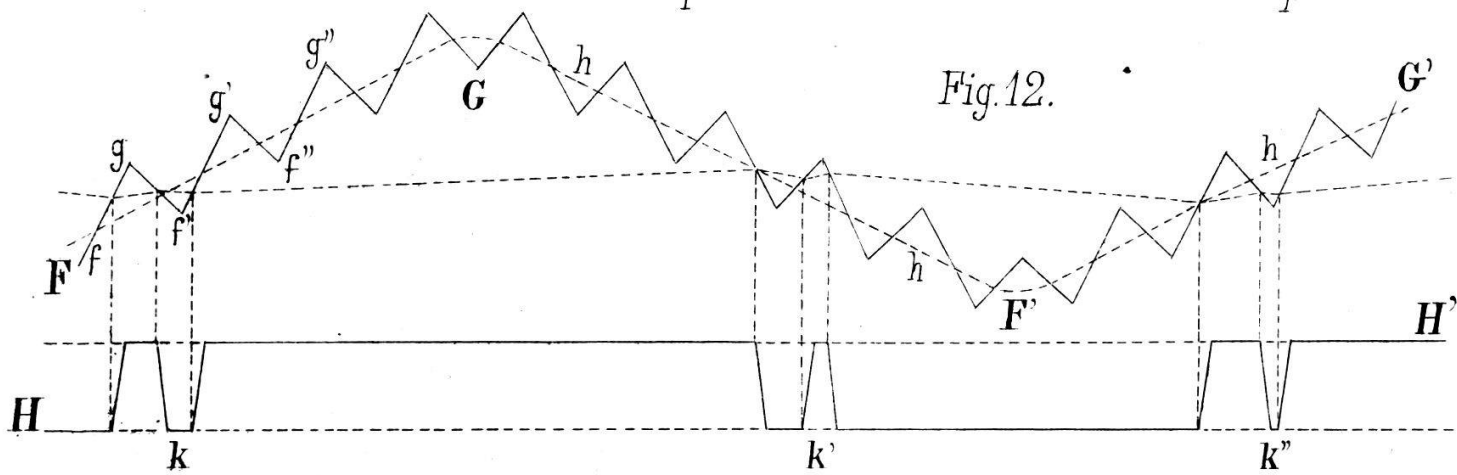


Fig. 13.

