Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 12 (1873-1874)
Heft: 70

Artikel: Études sur les seiches du Lac Léman
Autor: Forel, F.-A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-287487

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: 02.07.2025

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

ÉTUDE

SUR LES

SEICHES DU LAC LÉMAN

par

F.-A. FOREL,
professeur à l'Académie de Lausanne.

Les riverains du lac Léman appellent *seiche* un phénomène accidentel consistant en un mouvement alternatif et répété d'élévation et d'abaissement du niveau de l'eau du lac.

Cette marée en petites proportions, dont le flux et le reflux n'emploient que quelques minutes pour leur révolution, tout en se répétant parfois plusieurs heures durant, a d'abord été observée et étudiée à Genève, puis sur les autres rives du Léman; on en a constaté l'existence sur les autres lacs de la Suisse, et il n'est pas impossible de lui rapporter certains mouvements ou ondulations de la mer (*Marubbia, Raz de marée,* etc.). Le phénomène est donc général et mérite d'être étudié avec soin.

Les seiches sont signalées pour la première fois en 1730 par Fatio de Duillier (1) qui les attribuait à l'arrêt des eaux du Rhône sur le Banc du Travers près de Genève par des coups de vent du midi.

(1) Remarques sur l'histoire naturelle du lac de Genève dans l'Histoire de Genève par Spon. Genève 1730, II, p. 463.

Jallabert ([2]), en 1742, supposait que les seiches étaient causées à Genève par des crues subites de l'Arve, qui arrêtait l'écoulement du Rhône; à Villeneuve et au Bouveret, qui suivant lui étaient les seules localités du grand lac présentant des seiches, par l'afflux subit des eaux de fonte des glaciers ([3]).

Bertrand, dans une dissertation académique non imprimée ([4]), supposait que des nuées électriques pouvaient attirer et soulever les eaux du lac, et que les eaux retombant ensuite produisaient des ondulations dont l'effet était d'autant plus sensible que les bords du lac étaient plus resserrés.

H. B. de Saussure ([5]), après avoir admis cette dernière théorie, ajoute: « Je crois aussi que des variations promptes et locales dans la pesanteur de l'air peuvent contribuer à ce phénomène et produire des flux et reflux momentanés, en occasionnant des pressions inégales sur les différentes parties du lac. »

De 1802 à 1804 Vaucher voua son attention scientifique et son excellente méthode d'observation à l'étude des seiches. Il publia ses recherches dans un mémoire de 60 pages ([5 *bis*]), qui est ce que nous avons de mieux et de plus complet sur le phénomène qui nous occupe.

([2]) Histoire de l'Académie royale des sciences pour l'année 1742. Paris, p. 26.

([3]) Cette théorie avait déjà été émise par Addison. V. Hist. acad. royale des sc., loc. cit. p. 28.

([4]) Cité par Saussure et Vaucher.

([5]) Essai sur l'hist. nat. des environs de Genève. Voyages dans les Alpes. Neuchâtel 1779. I. 12.

([5 *bis*]) Vaucher. Mémoire sur les seiches du lac de Genève, composé de 1803 à 1804. Mém. de la soc. de Physique de Genève, t. VI, p. 35.

Après un court exposé historique, Vaucher nous donne successivement avec détail l'observation de dix seiches étudiées par lui du 30 novembre 1802 au 9 janvier 1803. Il se rendait au bord du lac et notait de minute en minute l'état stationnaire, l'élévation et l'abaissement du niveau des eaux. Voici un exemple de ses observations qui montrera le mode de procéder et donnera une idée de la marche du phénomène.

« Du 30 novembre 1802, aux Eaux-Vives de Genève [6].

à 1 h.	26	minutes	m.[7] 2 mm	à 1 h.	37	minutes	m. 7 mm
»	27	»	st. 0	»	38	»	m. 7
»	28	»	d. 3	»	39	»	m. 4
»	29	»	d. 3	»	40	»	m. 2
»	30	»	d. 7	»	41	»	m. 4
»	31	»	d. 2	»	42	»	m. 3
»	32	»	d. 3	»	43	»	m. 6
»	33	»	st. 0	»	44	»	m. 2
»	34	»	m. 3	»	45	»	d. 0
»	35	»	m. 6	»	46	»	st. 4
»	36	»	m. 4				

La figure 4 qui représente graphiquement une partie de l'observation II de Vaucher indique bien les allures du phénomène.

Il varia avec beaucoup de soin son mode d'observation

(6) Vaucher, loc. cit. p. 39.

(7) La lettre *m*, placée devant le chiffre indiquant la dénivellation en millimètres, signifie que le niveau de l'eau *montait*, la lettre *d* qu'il *descendait*, les lettres *st* qu'il était *stationnaire*, qu'il ne montait ni ne descendait. Nous avons, pour plus de commodité, traduit en valeurs métriques les mesures données en pied de roi par les naturalistes genevois.

et donna en particulier une grande attention à l'étude simultanée des mouvements de l'eau dans deux localités plus ou moins éloignées sur la même rive ou sur deux rives opposées du lac.

Il chercha ensuite les rapports qui existent entre la fréquence des seiches d'une part et la saison de l'année, ou l'état de l'atmosphère d'autre part. Il constata enfin l'existence des seiches sur les autres lacs suisses qu'il put visiter.

Voici les conclusions qu'il formule lui-même à la suite de ses observations (8):

« 1°. Il y a des seiches plus ou moins considérables dans tous les lacs; ceux dans lesquels on n'en a pas encore aperçu, n'ont pas été suffisamment examinés.

» 2° Ces seiches peuvent avoir lieu dans toutes les saisons de l'année et indifféremment à toutes les heures du jour; mais elles sont en général plus fréquentes au printemps et en automne.

» 3° Rien ne paraît influer davantage sur ce phénomène que l'état de l'atmosphère; en sorte que plus cet état est constant, moins il y a de seiches, plus il est variable, plus il y en a. C'est ce que prouvent toutes mes observations qui n'ont donné qu'un faible mouvement ou un mouvement nul toutes les fois que le vent du nord soufflait, que le temps était beau, qu'il régnait des brouillards étendus, et que la pluie ou la neige était générale; tandis que la seiche a toujours été considérable quand l'atmosphère était remplie de nuages pluvieux ou que le temps d'ailleurs assez serein se préparait à l'orage et que le baromètre baissait.

(8) Vaucher, loc. cit. p. 75.

» 4°. Toutes choses d'ailleurs égales, les seiches sont d'autant plus considérables sur le lac de Genève que l'on s'approche de la sortie du Rhône; leur maximum est à cette même sortie, et elles diminuent depuis ce point jusqu'au confluent du Rhône avec l'Arve, où elles sont à peu près nulles. Il en est de même en avançant de l'autre côté du lac jusqu'à Coppet, où elles ne sont plus que d'un ou deux pouces, et à Rolle, où elles sont moindre, sans cependant devenir jamais nulles.

» 5°. L'extrémité orientale du lac de Genève n'a pas des seiches plus sensibles que celles des autres lacs, quoique l'opinion contraire semble établie dans les ouvrages de De Saussure.

» 6°. Quoique les seiches soient plus fréquentes au printemps et en automne que dans les autres saisons, cependant elles sont plus considérables en été, et surtout à la fin de cette saison. Les plus grandes qui aient été observées ont toujours eu lieu dans les mois de juillet et d'août ou au commencement de septembre.

» 7°. Le minimum des seiches n'a pas de terme, mais leur maximum ne va pas au delà de cinq pieds.

» 8°. Enfin, quoique la durée de la seiche soit très variable, ses limites en plus ne sont guère au delà de 20 à 25 minutes et restent fort souvent en deçà, tandis que ses limites en moins sont zéro. »

Dans la seconde partie de son mémoire, Vaucher recherche quelle est la cause des seiches, et après avoir critiqué les théories de ses prédécesseurs il expose l'explication qui, jusqu'à aujourd'hui est restée généralement admise. Il cherche la cause du mouvement d'oscillation des seiches dans les variations de la pression atmosphérique; après avoir reconnu que les seiches coïncident

généralement avec de grands mouvements barométriques, il considère deux régions distinctes du lac. Il suppose que dans l'un la pression barométrique diminue, dans l'autre elle reste constante ou elle s'élève; ces deux régions sont alors inégalement chargées par l'atmosphère, et le niveau de l'eau doit tendre à s'élever dans la région où la pression barométrique a baissé, doit s'abaisser dans la région où la pression est la plus forte. Si cette rupture d'équilibre s'est faite un peu subitement, il doit en résulter un mouvement de balancement, et le retour au repos ne s'effectuera qu'après un certain nombre d'oscillations alternatives de plus en plus faibles.

« Il faut considérer, » dit-il, « les eaux des lacs comme formant un syphon à une infinité de branches, dont l'une quelconque communique à toutes les autres; que cette branche centrale correspondant à toutes les autres, soit, pour le moment, chargée de la colonne d'air dont le poids doit varier, si cette colonne admet une augmentation de poids ou de tension qui corresponde à une ligne de mercure et par conséquent à 14 lignes d'eau, l'eau subjacente tendra à baisser de 14 lignes, et cette quantité dont elle s'abaissera dans la branche correspondante du syphon, sera la même dont elle s'élèvera dans les autres branches, qui n'auront pas changé de poids puis qu'il faut que l'équilibre subsiste (9). » Puis, l'équilibre tendant à se rétablir, les oscillations successives des seiches se succèdent en diminuant d'intensité.

C'est du reste ce que Saussure avait déjà admirablement formulé dans les trois lignes que nous avons citées plus haut.

(9) Vaucher, loc. cit. p. 82.

Cette théorie, à laquelle nous n'hésitons pas à nous ranger, a été généralement admise. Je citerai entr'autres auteurs qui l'ont acceptée, Studer ([10]), Meyer ([11]) et Favre ([12]).

Une très belle observation de seiche est celle que M. Venié, directeur de la machine hydraulique de Genève, a fait les 2 et 3 octobre 1841. M. Oltramare en a donné les chiffres dans la séance du 18 octobre de la même année, à l'Académie des sciences de Paris ([13]). Cette seiche est la plus grande qui nous soit connue sur le lac Léman.

A. Yersin a publié en 1865 une courte note ([14]) sur les observations de seiches entreprises à Morges. Nous aurons à revenir bientôt sur cette série.

Citons enfin la remarque suivante tirée des procès-verbaux de notre société ([15]): « M. Guillemin parle d'une seiche de 0^m60 qui s'est manifestée à Genève le 17 août 1818, et il rapproche ce fait du tremblement de terre qui a eu lieu la veille au Pérou, en supposant que la seiche de notre lac aurait eu pour cause une oscillation du sol. » Cette observation mérite d'être notée. Il est vrai que le 17 août 1868 le baromètre était fort bas, et que dans ce cas l'explication habituelle des seiches pourrait être encore valable; mais il est incontestable que de même qu'une secousse imprimée à un vase plein d'eau détermine des vagues de balancement dans l'eau de ce

([10]) Lehrbuch der phys. Geographie, V, 78.
([11]) Physik der Schweiz. Leipsig, 1854, p. 353.
([12]) Recherches géologiques, etc. Paris 1867. I. 12.
([13]) Comptes-rendus de l'Acad. de sc. de Paris. XIII. 829.
([14]) Bull. soc. vaud. sc. nat. IV. 411.
([15]) Ibid. X. 178.

vase, de même aussi une secousse de la terre doit déterminer des vagues de balancement dans les mers et lacs de notre globe. Et dans le fait, les *raz de marée* de l'Océan coïncident généralement à des secousses de tremblement de terre. Je n'ai pas encore assez d'observations positives pour appuyer cette hypothèse, mais j'estime qu'il y aurait lieu de donner une grande attention à la coïncidence des très fortes seiches avec les secousses de tremblements de terre.

Voilà en résumé ce que j'ai su trouver dans la littérature scientifique sur ce phénomène, car je n'entreprendrai pas la discussion de deux mémoires inspirés par ce sujet, l'un à un Anglais qui n'a pas signé l'écrit intitulé: *On the phenomenon called the Seiche, observed on the lake of Geneva* (16), l'autre à un ingénieur français, célèbre dans notre pays par ses hypothèses de haute fantaisie sur les lacs souterrains de la Savoie, M. O. Vallée (17). M. J. de la Harpe a déjà suffisamment réfuté ce dernier (18).

A côté des observations de Vaucher, faites à Genève et dans les environs, j'ai entre les mains deux autres séries d'observations que je puis leur comparer.

Ce sont d'abord des observations faites simultanément, à Morges par MM. Burnier, Ch. Dufour et Yersin, à Genève par M. Bruderer, astronome, à Nyon par M. J. Veret, à Lausanne par M. Gay et à Vevey par M. Schnetzler. A l'appel d'une dépêche télégraphique, lancée de Morges dans les autres stations pour avertir de l'existence d'une seiche, les divers observateurs suivaient de

(16) Lausanne, S. Delisle, 1838.
(17) Du Rhône et du Lac de Genève. Paris 1843, p. 31, sqq.
(18) Bull. soc. vaud. sc. nat. VI. 9.

quart d'heure en quart d'heure les variations du baromètre et du limnimètre. M. Ch. Dufour a bien voulu me communiquer les observations faites d'après cette méthode pour les seiches du 1er avril, du 4 mai, du 16 novembre, du 3 décembre [19] 1854, du 3 février, du 31 mai 1855 et du 12 avril 1856. Ces observations sont surtout importantes au point de vue des variations de baromètre; mais comme dans l'étude qui va suivre j'ai complétement laissé de côté cette face de la question, je n'utiliserai dans cette série que les observations limnimétriques, malheureusement en trop petit nombre et ne provenant que des stations de Genève et de Morges.

J'ai moi-même étudié les seiches, à Morges, en 1869 et 1870, dans les conditions suivantes :

Le port de Morges, entièrement fermé par deux jetées qui s'avancent dans le lac, présente actuellement deux ouvertures : l'une de 30 mètres, servant au passage des bateaux, est difficilement abordable pour l'observateur ; l'autre ouverture, de 2 mètres de large, percée dans la jetée du nord, en 1854, pour le renouvellement de l'eau du port, est située au bord d'un quai, et peut être facilement surveillée. Or, chaque fois qu'il se produit une différence quelconque dans le niveau de l'eau, à l'intérieur ou à l'extérieur du port, chaque fois que l'eau du lac s'élève ou s'abaisse, l'eau contenue dans le port tendant à regagner le niveau du lac, il se développe, à ces deux ouvertures, un courant plus ou moins violent, d'entrée alors que

[19] La seiche du 3 déc. 1854 a déjà été publiée par Yersin dans notre bulletin (IV. 412) et figurée graphiquement, mais à une autre échelle que celle que j'ai donnée dans ma figure 6. J'ai cru devoir la reproduire pour en permettre la comparaison avec les autres seiches que j'ai dessinées.

le niveau du lac s'élève, de sortie alors qu'il s'abaisse.

Ce courant est facilement observable à la petite ouverture de la jetée du nord et devient très visible toutes les fois qu'une seiche vient modifier le niveau des eaux. On verra plus bas quel parti j'ai pu tirer de ces circonstances favorables, d'une part en constatant la fréquence des seiches, d'autre part en mesurant d'une manière précise leur durée.

Or, de la comparaison des observations de Genève avec celles qui ont été faites à Morges, il ressort une telle différence entre la marche du phénomène dans ces deux stations, que j'ai dû, pour assimiler les seiches de Morges à celles de Genève, étudier leur mécanisme un peu plus en détail que cela n'a été fait jusqu'à présent. C'est ce travail que je vais exposer dans les pages suivantes. Les conclusions auxquelles j'arriverai, devant prouver que le phénomène n'a pas encore été suffisamment étudié et que de nouvelles recherches sont nécessaires, je ne donne ici ces observations qu'à titre de matériaux qui pourront être utilisés pour des travaux subséquents.

Je diviserai cette étude en cinq paragraphes :

Le premier traitera des seiches du lac Léman, étudiées comparativement à Genève et à Morges.

Le second décrira un mouvement oscillatoire de l'eau, analogue aux seiches, observé dans le port de Morges.

Un troisième paragraphe étudiera le mouvement d'oscillation des seiches.

Dans un quatrième, je chercherai expérientalement les lois de l'oscillation de balancement.

Enfin, je chercherai à conclure dans un cinquième et dernier paragraphe.

I

Les seiches du lac Léman à Genève et à Morges.

Le phénomène des seiches consistant en un flux et un reflux, en des mouvements alternatifs d'élévation et d'abaissement du niveau de l'eau, nous aurons à le considérer sous trois points de vue :

1° L'amplitude de l'oscillation.

2° Sa durée.

3° Ses allures.

I. *Amplitude des oscillations* ou différence de hauteur entre le maximum et le minimum du niveau de l'eau dans les divers temps de l'oscillation.

a) Cette amplitude est variable dans une même seiche pour les diverses oscillations.

C'est ce que prouvent les figures 1 à 8, représentant graphiquement quelques seiches du lac Léman.

C'est ce que prouve le résumé suivant de la IIIme observation de Vaucher.

Du 4 décembre 1802, à 1 heure du soir, aux Eaux-Vives, à Genève.

	Ascension.	Descente.		Ascension.	Descente.
	mm	mm		mm	mm
1re vague	41	2	4e vague	9	49
2e »	11	27	5e »	—	18
3e »	31	85			

C'est ce que prouve encore le résumé d'une seiche observée par A. Yersin.

Du 3 décembre 1854, à 10 heures du matin, dans le port de Morges.

	Ascension.	Descente.		Ascension.	Descente.
	mm	mm		mm	mm
1re vague	21	39	4e vague	21	21
2e »	26	12	5e »	61	61
3e »	33	48	6e »	33	15

b) L'amplitude des oscillations est variable dans une même localité pour les différentes seiches.

Des dix observations de Vaucher, je prends le maximum d'amplitude pour la montée et la descente et j'obtiens, aux Eaux-Vives, à Genève, les chiffres suivants :

	Ascension	Descente		Ascension	Descente
	mm	mm		mm	mm
Ie observ.	49	21	VIe observ.	52	65
IIe »	150	97	VIIe »	68	36
IIIe »	41	86	VIIIe »	117	49
IVe »	137	133	IXe »	45	38
Ve »	45	—	Xe »	20	43

Or, Vaucher n'indiquait que les seiches d'une certaine importance ; toutes les fois que l'amplitude n'atteignait pas 4 à 5 centimètres, il ne prenait pas la peine de les noter.

D'une autre part, l'histoire nous conserve le souvenir de seiches bien plus considérables observées à Genève.

Saussure a mesuré, le 3 août 1763 (20), une seiche dont la plus forte amplitude a été de $1^{m}481$.

Fatio de Duillier cite la seiche du 16 septembre 1600 (21) comme ayant atteint $1^{m}624$.

(20) Loc. cit. p. 13.
(21) Loc. cit. p. 463.

M. Venié, enfin, a observé, les 2 et 3 octobre 1841, la plus forte seiche dont l'histoire fasse mention ([22]). Le 2 octobre au soir, les oscillations furent telles qu'elles dépassèrent les limites de l'échelle limnimétrique et ne purent être mesurées avec fruit. Le 3 octobre, à 4 heures du matin, nouvelles seiches trop fortes pour être mesurées ; à 5 heures, l'amplitude de l'oscillation rentre dans les limites de l'échelle et permet les observations suivantes au limnimètre du Grand-Quai, à Genève :

A 6 heures 30, le lac s'élève, en 5 minutes, à $1^{m}218$ au-dessus du niveau moyen de la journée. Il baisse lentement, et, à $9^{h}5$, il est à $0^{m}920$ au-dessus de ce même niveau. De 6 à 10^{h} du matin, le niveau présente 5 maximums et 5 minimums, diminuant graduellement d'importance.

Dans cette seiche mémorable, l'amplitude mesurée a donc atteint $2^{m}14$, et les oscillations qui n'ont pu être évaluées ont dépassé ce chiffre.

L'amplitude des seiches, à Genève, oscillerait donc entre 0 et $2^{m}15$.

c) L'amplitude des seiches varie suivant les localités et les points de la rive où on les observe.

Vaucher avait déjà indiqué la différence d'amplitude des mêmes seiches aux Eaux-Vives de Genève, et à Genthod, (à une lieue environ de l'extrémité du lac) ; dans la première station, les seiches avaient une amplitude quadruple de celles de Genthod.

Si l'on compare l'amplitude des seiches, à Genève et dans le grand lac, la démonstration sera plus évidente encore.

([22]) Description d'Oltramare dans Comptes-rendus de l'Acad. des sc. de Paris. XIII. 829.

Nous venons de voir qu'à Genève les seiches peuvent atteindre une amplitude de 1 à 2 mètres. A Morges, nous ne connaissons rien de pareil. Sans aller aussi loin que Vaucher, qui limitait à quelques lignes la hauteur des oscillations à Vevey, il est pour nous un fait certain, c'est que, dans le grand lac, les seiches sont beaucoup plus faibles qu'à Genève.

Notre figure 6 donne le tracé des seiches du 16 novembre 1854, observées simultanément à Morges et à Genève. Le limnimètre du Grand-Quai, à Genève, indiquait une amplitude de seiches allant jusqu'à 145^{mm} ; pendant ce temps, la seiche, à Morges, n'atteignait pas 60^{mm} ([23]).

Sans pouvoir l'appuyer sur des observations directes, mais en nous fondant sur l'expérience de toutes les personnes qui, à Morges, étudient le lac, nous pouvons évaluer de 1 à 3 centimètres les seiches moyennes, et à 10 centimètres les fortes seiches.

J'en ai cependant observé une, le 10 septembre ([24]) 1869, à 7 heures du soir, qui m'a offert, dans le port de Morges, une amplitude de 26 centimètres ; mais cette observation est tout à fait exceptionnelle.

D'après une communication de M. Ch. Dufour, les seiches

([23]) Au sujet de cette observation nous devons réserver à une discussion ultérieure la question de savoir si c'était la même seiche qui était sensible à Morges et à Genève; si les oscillations du niveau de l'eau dans les deux localités étaient dues à la même cause, à la même impulsion.

([24]) Un point à noter, qui a déjà été signalé par Vaucher, c'est que les plus fortes seiches connues ont été observées dans les mois de juillet à octobre. Ainsi le 16 septembre 1600 (Fatio de Duillier), le 3 août 1763 (Saussure), le 26 juillet 1810, le 11 juillet 1837, les 2 et 3 octobre 1841 (Oltramare et Venié), le 17 août 1868 (Guillemin), le 10 septembre 1869 (Forel), le 8 octobre 1873 (Ch. Dufour).

sont à Villeneuve, contrairement à l'avis de Vaucher et conformément à celui de Saussure, plus faibles qu'à Genève, mais plus fortes qu'à Morges. M. Dufour en a observé une, à Villeneuve, qui mesurait 30 centimètres d'amplitude.

En résumé, pour ce qui concerne l'amplitude des oscillations des seiches, nous voyons qu'elle varie :

1° Dans une même seiche et dans une même localité pour les différents temps de l'oscillation.

2° Dans une même localité, pour les différentes seiches.

3° Dans un même lac, pour les différentes localités.

II. *Durée de la vague.* Il a de même inégalité dans la durée de la vague.

a) La durée des différents temps de l'oscillation n'est pas égale pour une même seiche dans une même localité.

Je le prouverai en citant quelques-unes de mes observations de seiches faites à Morges par le procédé ci-dessus indiqué.

Obs. I. *Du 7 mai 1869, à 9 heures du matin.*

Heure du commencement du mouvement		Durée en secondes du mouvement	
d'ascension.	de descente.	d'ascension.	de descente.
—	9 h. 26',10"	—	135
9 h. 28',25"	» 30,00	95	120
» 32,00	» 34,00	120	135
» 36,15	» 38,30	135	140
» 40,50	» 43, 5	135	115
» 45,00	» 46,20	80	100
» 48,00	» 49,45	105	135
» 52,00	» 54,30	150	165
» 57,15	» 59,50	155	—

OBS. II. *Du 19 mai 1870, à 9 heures du matin.*

Heure du commencement du mouvement d'ascension.	de descente.	Durée en secondes du mouvement d'ascension.	de descente.
9 h. 25′, 6″	9 h. 26′,50″	104	170
» 29,40	» 31, 5	85	185
» 34,10	» 35,40	90	270
» 40,10	» 41,45	95	235
» 45,40	» 47,15	95	125
» 49,20	» 51, 6	106	154
» 53,40	—	—	—

Dans l'observation I les durées extrêmes ont été en secondes:

pour l'ascension maximum 155 minimum 80
pour la descente » 165 » 115

Dans la seconde observation :

pour l'ascension maximum 110 minimum 90
pour la descente » 270 » 125

Il n'y a donc pas isochronisme dans les temps d'oscillation d'une même seiche.

b) Il n'y a pas non plus égalité dans la durée moyenne des oscillations des diverses seiches observées dans la même localité.

Je résume dans le tableau suivant la durée moyenne de l'oscillation entière de quelques seiches observées à Morges, indiquant en secondes la durée de l'oscillation totale, c'est-à-dire du temps employé pour que l'eau recommence à s'élever, après s'être élevée et abaissée.

No	Date.	Maximum.	Minimum.	Moyenne.
I	7 Mai 1869	300	180	254
II	19 » »	240	200	210
III	21 » »	405	280	331
IV	— » »	350	280	315
V	— » »	230	205	216
VI	28 » »	330	210	244
VII	— » »	275	195	225
VIII	10 Sept. »	400	260	327
IX	2 Oct. »	255	180	206
X	29 Nov. »	—	—	310
XI	9 Mai 1870	365	220	288
XII	11 » »	415	160	247

D'après ces douze observations la durée extrême des oscillations varierait entre 160 et 415 secondes, les moyennes entre 206 et 331 secondes, et la moyenne générale de ces différents chiffres serait de 264 secondes.

J'en conclus que dans une même localité la durée des seiches varie d'un jour à l'autre.

Jallabert ([25]) avait déjà remarqué cette différence de durée entre les seiches ; il croyait avoir reconnu que plus la seiche était forte, plus elle employait de temps à accomplir ses oscillations. Il fixait de 14 à 15 minutes la durée d'une seiche à Genève haute de 7 à 8 pouces (19 à 21 centimètres) et de 24 à 26 minutes la durée d'une seiche dont l'amplitude atteignait un pied (32 centimètres). Je ne puis pas confirmer par les observations que j'ai entre les mains ce rapport entre l'amplitude et la durée des seiches.

([25]) Loc. cit. p. 27.

c) La durée des seiches diffère aussi notablement d'une localité à l'autre. Elle n'est pas la même à Morges qu'à Genève, et dans cette dernière localité elle est sensiblement plus forte qu'à Morges.

Je viens d'établir qu'à Morges la moyenne de la durée d'une oscillation de seiche est de 264 secondes. Pour les seiches de Genève je tire des observations faites par Vaucher aux Eaux-Vives les chiffres suivants exprimant en minutes la durée des différentes vagues :

No	Ascension.	Descente.	Vague entière.
I	—	6	—
—	11	6	17
II	18	13	29
III	—	21	—
—	9	11	30
IV	—	5	—
—	22	(16)	27
VI	4	18	22
—	24	—	42
IX	—	14	—
—	13	—	27
X	12	6	18

D'où je puis tirer la moyenne de 26 $^1/_2$ minutes, soit 1590 secondes ([26]).

([26]) La seiche de Genève du 16 novembre 1854 (v. fig. 6) me donne les résultats suivants exprimés en minutes.

	Ascension.	Descente.	Vague entière.
1re vague	16	15	31
2e »	10	26	36
3e »	20	—	—

Résultat très analogue à ceux de Vaucher.

Il est vrai que l'observation n° VIII de Vaucher me donne des chiffres beaucoup plus faibles.

EAUX VIVES.			BAINS LULLIN.		
Ascension.	Descente.	Vague entière.	Ascension.	Descente.	Vague entière.
9	7	16	2	5	7
12	4	16	6	2	8
2	4	6	2	1	3
2	—	—	5	2	7
			4	2	6
			3	1	4
			4	3	7

D'où je tire la moyenne pour la vague entière de 8 minutes ou 480 secondes. Si j'utilisais cette observation pour obtenir la moyenne de durée des seiches à Genève, cette moyenne serait sensiblement abaissée. Mais je préfère réserver cette observation pour une discussion ultérieure, et m'en tenir au chiffre précédemment obtenu de 1590 secondes pour la durée moyenne des seiches à Genève.

Ce chiffre diffère notablement de celui que j'ai obtenu pour la durée des seiches de Morges et est bien plus élevé ; ce que je formule en disant que :

La durée de l'oscillation varie d'une localité à l'autre et est sensiblement plus élevée à Genève qu'à Morges.

III. Quant aux *allures* des seiches voici ce que j'ai à remarquer :

1° D'après les observations de Vaucher l'ascension et la descente de l'eau se font d'une manière assez irrégulière, tantôt plus rapidement, tantôt moins rapidement,

fréquemment interrompues par un temps d'arrêt et même un léger mouvement en sens inverse.

J'ai constaté le même fait à Morges, où les courants d'entrée et de sortie du port présentent souvent de nombreuses irrégularités.

2° J'ai cherché à constater si les mouvements d'ascension et de descente avaient lieu plus rapidement l'un que l'autre.

M. Oltramare, en rendant compte de la seiche de M. Venié du 3 octobre 1841 ([27]), remarque que le mouvement d'ascension est infiniment plus rapide que celui de descente ; dans la seconde vague de cette seiche l'élévation a eu lieu en 5 minutes, la descente a duré plus de deux heures.

Pour vérifier ce fait j'ai comparé dans mes observations de Morges la durée moyenne pour chaque seiche des mouvements d'ascension et de descente. J'ai trouvé que sur douze seiches observées, dans huit cas la durée de l'ascension était moindre que celle de la descente, dans un cas les durées étaient égales, dans trois cas la durée de l'ascension était plus forte que celle de la descente. La moyenne de la durée de l'ascension dans ces douze observations est de 117 secondes, celle de la descente de 147.

Il semblerait donc d'après ces quelques observations qu'il y a une tendance à présenter un mouvement d'ascension plus rapide que le mouvement de descente.

Les tracés graphiques (figures 1-8) ne nous montrent rien de précis à cet égard.

3° J'ai cherché s'il y avait dans le mouvement des

([27]) Comptes-rendus de l'Acad. des sc. de Paris, XIII. 829.

seiches tendance à l'accélération ou à la diminution de vitesse du mouvement, du commencement à la fin. Je n'ai rien pu obtenir de constant, observant tantôt une accélération, tantôt un ralentissement, le plus souvent de simples irrégularités.

4° J'ai cherché si je pouvais constater une tendance à l'augmentation ou à la diminution de l'amplitude du mouvement du commencement à la fin, ou s'il y aurait peut-être au milieu de la seiche tendance à la formation d'un maximum d'amplitude.

D'après la théorie de Vaucher, il devrait y avoir décroissance dans l'amplitude des oscillations, la première étant la plus forte, les dernières devenant insensibles. Je dois reconnaître que, dans les observations qui sont entre mes mains, je ne puis citer, comme satisfaisant à cette loi, que les suivantes :

La IIIme observation de Vaucher (fig. 1).

L'observation de Venié, du 2 octobre 1841.

La seiche observée, à Genève, par M. Bruderer, le 16 novembre 1854 (fig. 6).

Pour les autres, l'observation n'embrasse pas un assez grand nombre d'oscillations, ou a montré trop d'irrégularités dans les courbes, pour qu'il soit possible d'en tirer quelque chose de précis à ce point de vue.

5° J'ai cherché à constater, à Morges, si, pendant les seiches, on pouvait observer un mouvement de déplacement dans l'eau du lac, mouvement de transport dans la direction du rivage pendant l'ascension de l'eau, de transport du rivage en plein lac pendant la descente. Ce mouvement doit avoir lieu, mais il est inappréciable à l'œil, et je crois pouvoir affirmer qu'en tous les cas, dans une seiche ordinaire, à Morges (de 5 à 10 centimètres d'am-

plitude), sa valeur ne dépasse pas 30 centimètres pendant toute la durée de la vague.

6° J'ai cherché si, pendant les seiches, l'on pouvait, par un temps très calme, constater à la surface un mouvement d'ondulation progressive ; si l'on pouvait apercevoir des lames gigantesques qui, venant frapper le rivage, produiraient le mouvement de flux et de reflux. Malgré l'attention que j'ai mise à cette recherche, en observant la déformation qui, dans ce cas, aurait dû être sensible dans les images reflétées par le miroir des eaux, je n'ai jamais rien constaté qui pût être rapporté à cette cause ; et je crois pouvoir affirmer que, si les seiches sont occasionnées par des vagues d'oscillation progressive, la largeur de ces vagues serait, en tous les cas, supérieure à 50 ou 100 mètres.

J'aurai, plus tard, à utiliser ces deux dernières observations négatives, et les deux maximum et minimum que je donne.

7° Pour donner, enfin, une idée de la fréquence des seiches, je dirai que j'en ai observé, dans le mois de mai 1870, les 7, 8, 11, 13, 16, 17, 18, 19, 21, 23, 26, 27 et 31, soit 13 jours sur 31 ; n'étant pas toujours sur le lieu de l'observation, bien des seiches ont pu m'échapper dans les jours où je n'en ai point notées ([28]).

([28]) Il faut bien remarquer ici que d'après tous les observations le maximum de fréquence des seiches a lieu au printemps et en automne.

II.

Petites seiches du port de Morges.

Dans l'hiver de 1869 à 1870, les eaux du lac Léman ont été exceptionnellement basses, le fond du port de Morges a été mis à sec sur un espace de quelques mètres carrés, et la pente presque insensible que présentait cette grève rendait visibles, par un mouvement latéral très considérable, les moindres oscillations en hauteur des eaux du port. Cela m'a permis de faire l'observation suivante :

Obs. XIII. *Du 6 Janvier 1870, à 11 1/2 heures du matin.*

« Par un léger Morget (brise de terre), je constate de grandes ondulations, consistant en un mouvement alternatif d'ascension et de descente de l'eau du port, parfaitement comparable au mouvement des seiches. Ce mouvement d'oscillation est assez irrégulier ; en 190 secondes de temps, je compte 9 oscillations complètes. La durée de chaque oscillation est donc, en moyenne, de 21 secondes. »

J'ai répété cette observation chaque fois que le phénomène se présentait, et je donne le résumé de cette étude dans le tableau suivant :

N°	Date.	Heure h. m.	Vent.	Nombre d'oscillations	Durée moyenne en second. d'une oscillation.
XIII	6 janv. 1870	11 30	Léger Morget	9	21.1
XIV	7 » »	11 25	Légère bise	10	33.5
XV	9 » »	2 50	» »	18	21.2
XVI	20 » »	4 7	» »	16	17.5
XVII	5 mars »	5 2	» »	14	15.3
XVIII	10 » »	2 20	» »	16	14.7
XIX	12 » »	10 7	Léger vent	6	34.1

D'après cela, la durée moyenne d'une de ces oscillations serait de 22,5 secondes.

Que sont ces oscillations, et à quoi les comparer?

Leur allure, je l'ai dit, est celle des seiches, mais leur durée est bien moindre. Nous avons vu que les seiches, à Morges, ont une durée moyenne de 264 secondes; le mouvement d'oscillation qui nous occupe a une valeur 12 fois moindre, 22,5 secondes. J'ai, du reste, constaté que, pendant que je les observais dans l'intérieur du port, à l'extérieur il n'y avait pas de seiches appréciables.

Serait-ce un mouvement des vagues du vent? Le tableau que je viens de donner indique que, pendant toutes ces observations, le vent était très faible; par un fort vent, le port, lui-même, eut été trop agité pour que ce mouvement fût appréciable. Or, les plus fortes vagues de vent, dont j'ai mesuré la durée (en date du 30 novembre 1869), d'une largeur d'environ 15 mètres d'une crête à l'autre, ne dépassaient pas 4 secondes de durée. La durée des vagues du lac, par des vents très faibles, tels qu'ils existaient alors que j'observais le mouvement d'oscillation dans le port de Morges, varie entre 0,5 et 1 seconde.

Je n'avais donc affaire ni à un mouvement d'oscillation progressive des vagues du vent, la durée du mouvement étant trop forte, ni à de véritables seiches du lac, la durée du mouvement étant trop faible. J'étais en présence de *seiches du port de Morges*, d'un mouvement analogue à celui des seiches, mais diminué et rapetissé par les dimensions minimes du bassin.

Le port de Morges mesure environ 200 mètres de long dans son plus grand diamètre.

Il peut être intéressant, pour l'étude que nous faisons des seiches du lac Léman, de les comparer à ce mouve-

ment qui leur est analogue, mais en petit et dans des conditions bien plus restreintes. Arrêtons-nous donc un instant à ces seiches du port de Morges.

Leur amplitude est très faible; elles mesurent quelques millimètres, 2 ou 3 millimètres au plus; aussi, sont-elles tout à fait inappréciables alors que le lac est assez élevé pour ne plus présenter la grève fort doucement inclinée que j'ai décrite. Aux ouvertures du port, le courant, déterminé par ces seiches en miniature, est trop faible pour être utilement observable; je crois, cependant, pouvoir lui attribuer certaines irrégularités que j'ai remarquées parfois dans la marche du courant des grandes seiches du lac.

Quant à leur durée moyenne, je l'ai indiquée plus haut: elle varie, suivant les jours d'observation, dans les limites de 14,7 à 37,1 secondes. Je n'ai pas noté, pour une même seiche, la durée des divers temps d'oscillation, mais je puis dire que la même irrégularité que nous avons vue dans les grandes seiches du lac, à Morges et à Genève, est parfaitement sensible dans les petites seiches du port de Morges, et que la durée des vagues qui se succèdent est loin d'être constante et régulière.

J'attribue à deux causes différentes le mouvement de balancement de l'eau que nous venons d'étudier au port de Morges:

1° Au vent. Les observations que j'ai citées ont toutes été faites alors qu'un vent peu violent agitait légèrement l'atmosphère et causait des changements irréguliers de pression sur les différentes parties du bassin.

2° A la vague puissante que refoulent devant eux les bateaux à vapeur; dans ce cas, la seiche du port a une intensité plus forte que lorsqu'elle est causée par le vent,

et devient même observable par le courant d'entrée et de sortie aux ouvertures du port.

III

Du mouvement de l'eau dans les seiches.

Quelle est la nature du mouvement qui nous occupe? C'est ce que je dois discuter actuellement.

Il y a deux sortes de mouvement d'oscillation dans les corps : l'oscillation progressive et l'oscillation fixe.

L'oscillation progressive est le mouvement d'ondulation causé par un corps qui frappe l'eau, ou par l'action continue et régulière du vent. La vague circulaire, déterminée dans l'eau par la chute d'une pierre ou d'une goutte de pluie, ou par le coup de la rame ; la vague, plus ou moins rectiligne, que détermine la marche d'un bateau ou l'action du vent qui caresse la surface de l'eau en la pressant, sont des vagues d'oscillation progressive.

La vibration déterminée sur la corde d'un violon par le frottement de l'archet, est une oscillation fixe. Cette forme d'oscillation peut être mise en jeu, sur un vase plein d'eau, par l'action isochrone et répétée d'une pression sur un point déterminé de la surface, par des secousses cadencées et rhythmiques du vase, ou simplement par une secousse subite sur les parois du vase, ou par un choc subit sur une surface un peu étendue de l'eau.

Dans l'oscillation progressive, la crête de la vague se déplace sans cesse, en progressant toujours dans la même direction ; tous les points de la surface subissent alternativement un mouvement d'élévation et de descente.

Dans l'oscillation fixe la crête de la vague se produit toujours aux mêmes points, et ne se déplace pas, de telle sorte qu'entre les régions de la surface qui subissent une oscillation maximale (ventres d'oscillation) se trouvent des régions qui restent dans un repos presque absolu (nœuds) au point de vue des mouvements d'élévation et de descente.

Dans l'oscillation progressive la molécule d'eau décrit un mouvement de révolution suivant une ellipse plus ou moins aplatie, mouvement ellipsoïde qui s'effectue pendant que la crête de la vague progresse d'une quantité égale à la largeur de la vague.

Dans l'oscillation fixe la molécule d'eau subit un mouvement de va-et-vient, révolution rectiligne ou courbe, qui s'effectue dans le temps qu'emploie la vague pour s'élever et descendre.

Avons-nous dans les seiches affaire à un mouvement d'oscillation ? C'est ce que les allures du phénomène et la répétition du flux et du reflux semblent indiquer.

A quelle forme du mouvement d'oscillation pouvons-nous rapporter les seiches, c'est ce que nous allons chercher à étudier.

Vaucher comparait le mouvement d'oscillation des seiches à celui qui se produirait dans un siphon si l'une des branches était soumise subitement à une pression plus forte ou plus faible que celle qui règne à l'autre branche ; il se rangerait ainsi à l'opinion que les seiches sont un mouvement d'*oscillation de balancement* (29). L'eau du

(29) J'appelle *oscillation de balancement* la forme d'oscillation fixe qui se produit dans un bassin d'eau ou dans un siphon.

siphon subit le mouvement de va-et-vient rectiligne qui caractérise ce mode d'oscillation.

Mais dans les observations de Vaucher, ou plutôt dans les conclusions qu'il a tirées de ses observations, il est un fait qui, s'il est exact, indiquerait évidemment pour les seiches un mouvement d'ondulation progressive C'est le fait qu'on peut formuler en disant que, dans deux stations inégalement éloignées de Genève, les mouvements des seiches sont successifs, la station la plus éloignée de l'extrémité du lac commençant la première les mouvements d'élévation et d'abaissement (environ deux minutes de différence entre la station des Bains Lullin et celle des Eaux-Vives) (Obs. III, IV, VI, VII, VIII).

Il y aurait là évidemment une progression, une vague gigantesque qui s'avancerait de Genthod, du Vangeron ou des Bains Lullin vers Genève. Si le fait est vrai nous sommes évidemment en présence d'une vague d'oscillation progressive.

Mais si nous reprenons la question de cette progression de la vague, de cette différence dans les moments des différentes ondulations telle que l'indique Vaucher, si nous critiquons à ce point de vue ses observations, nous arrivons à des résultats beaucoup moins affirmatifs.

Je me fonde pour cela sur les raisons suivantes :

Vaucher n'a pas osé répéter cette conclusion dans le résumé qu'il donne lui-même de ses recherches (pages 75).

Sur les cinq observations de Vaucher qui devaient juger cette question, trois seulement, les observations III, IV et VIII, ont donné d'après leur auteur un résultat un peu précis dans le sens que nous venons d'indiquer.

Enfin, si nous reproduisons graphiquement ses diverses

expériences comparatives (v. fig. 1, 2, 3 et 5), si avec la meilleure critique nous les étudions à ce point de vue, il nous est impossible d'arriver à une conclusion précise. La différence est telle entre les deux courbes, les deux courbes sont si souvent opposées et tellement irrégulières qu'il est vraiment impossible de dire dans laquelle des deux stations la vague avancerait sur l'autre. De cette étude des tracés graphiques des observations de Vaucher il ne peut rester qu'une seule impression, c'est que le mouvement est fort irrégulier dans deux stations différentes et point du tout simultané.

La question reste donc intacte et peut s'étudier à nouveau.

Sommes-nous en présence d'un mouvement d'oscillation progressive, d'immenses lames de dimensions colossales qui, partant d'un point quelconque du lac, viendraient battre successivement la rive ? Cette supposition répondrait assez bien à certains côtés du phénomène des seiches. Comme dans les seiches, dans toute vague d'ondulation progressive, il y a mouvement alternatif d'élévation et d'abaissement de la surface de l'eau ; dans les vagues du vent, on observe facilement l'irrégularité d'amplitude et de durée, que nous avons constatée dans les ondulations successives des seiches ; dans cette forme d'ondulation on remarque un ralentissement sensible dans la rapidité et une augmentation dans l'amplitude de la vague alors que la profondeur de l'eau diminue, ce qui expliquerait les différences d'amplitude et de durée que nous avons constatées entre les seiches observées à Morges et à Genève.

Mais l'étude plus approfondie du mouvement nous force à écarter la supposition que le phénomène des seiches serait dû à un mouvement d'oscillation progressive.

La molécule d'eau décrit, dans ce cas, un mouvement ellipsoïde aplati dont la durée est égale au temps que met la vague pour avancer d'une distance égale à sa largeur (on appelle largeur d'une vague la distance qui sépare deux points homologues de deux vagues successives); par suite la vitesse dont est animée la molécule d'eau dans ce mouvement ellipsoïde est égale à la vitesse de progression de la vague.

J'ai dit plus haut que l'étude attentive du miroir du lac, pendant les seiches, ne m'avait pas permis de constater la moindre déformation dans l'image des objets qui s'y réfléchissent; j'ai dit que j'en concluais que si la seiche était causée par une vague d'ondulation progressive, la largeur de cette vague n'était pas inférieure à 100 mètres.

La durée moyenne d'une oscillation de seiche à Morges est de 264 secondes. Dans la vague d'ondulation progressive la crête de la vague progresse de toute la largeur de la vague pendant la durée d'une oscillation. Si donc dans les seiches nous avons affaire à une vague d'ondulation progressive, la crête de cette vague doit en 264 secondes progresser de toute la largeur de la vague, c'est-à-dire d'une largeur de plus de 100 mètres. A raison de 100 mètres en 264 secondes la rapidité de la progression de a vague serait de 0^m38 par seconde.

Or, les molécules d'eau de la surface suivent, pour le moment du moins où elles occupent la crête de la vague, la rapidité du mouvement de progression de celle-ci; dans le cas d'une vague d'ondulation progressive dont la largeur serait de 100 mètres et la durée de 264 secondes, nous aurions à certains moments de la vague un déplacement horizontal de 0^m38 par seconde. Si, la durée restant la même, la largeur de la vague était plus forte, la

rapidité de ce mouvement horizontal augmenterait, si la largeur était plus faible, il diminuerait. Pour une largeur de 50 mètres, la vitesse de ce mouvement de déplacement horizontal de l'eau à la surface serait de $0^{m}19$ par seconde, vitesse encore fort appréciable et bien facile à constater.

J'ai dirigé tout spécialement mon attention sur l'existence d'un déplacement horizontal de l'eau du lac pendant le mouvement des seiches (au-dessous du débarcadère des bateaux à vapeur à Morges) et je puis affirmer qu'un mouvement aussi rapide que celui que je viens d'indiquer n'aurait pas échappé à mon observation.

D'après cela si les seiches étaient des vagues d'ondulation progressive elles devraient avoir une largeur de moins de 50 mètres. Mais comme je puis d'un autre côté par l'étude du miroir du lac affirmer que ces vagues, si elles existent, ont au moins 100 mètres de large, je crois pouvoir conclure que les seiches ne sont pas le produit de vagues d'ondulation progressive.

Si donc mon raisonnement est exact, et si le mouvement des seiches est un mouvement d'oscillation, c'est un mouvement d'oscillation de balancement.

IV.

Lois de l'oscillation du balancement.

Ne trouvant pas dans les auteurs que j'ai sous la main d'expériences positives sur l'oscillation de balancement de l'eau, j'ai dû entreprendre moi-même ces expériences. Mon but, je n'ai pas besoin de le dire, n'était pas d'étudier à

fond ce mouvement de l'eau, mais de le connaître assez pour pouvoir le comparer à nos seiches. Après quelques essais avec des vases de diverses tailles et de diverses formes, j'ai fait construire l'appareil qui m'a servi à étudier cette question.

C'est un cadre de bois de chêne en forme d'U applati, dont la branche horizontale mesure 1^m30 de long et la branche verticale 0^m395. Le long du bord intérieur de ce cadre, j'ai fait, de chaque côté, creuser une rainure, soit battue, dans laquelle j'ai fait cimenter deux glaces de verre double ; j'ai ainsi obtenu un bassin présentant deux larges faces de verre, me permettant d'étudier les mouvements de l'eau, et dont les dimensions sont les suivantes : longueur 1^m30, largeur 27 à 30 milimètres, profondeur 0^m395. Ayant bientôt reconnu que la pression intérieure, lorsque l'eau avait atteint une profondeur de 20 à 25 centimètres, était assez forte pour faire fléchir les feuilles de verre et pour les briser, j'ai soutenu leur face externe par trois systèmes de traverses verticales en bois, au moyen desquelles je puis empêcher la flexion extérieure des verres, en appuyant ceux-ci à l'aide de bouchons de liège.

Enfin, pour obtenir un mouvement d'oscillation ou de balancement de tout l'appareil, j'ai cloué à la face inférieure du cadre et sur son centre de gravité une traverse horizontale sur laquelle je puis imprimer des mouvements de balancement dans un plan vertical.

L'appareil étant ainsi disposé, je le remplis, jusqu'à une hauteur donnée, d'eau contenant en suspension quelques poussières légères, de manière à ce que je puisse observer le mouvement de l'eau dans les parties profondes, et j'imprime un mouvement d'oscillation sur la traverse horizontale. Puis, au moyen de la montre à secondes, je compte

la durée moyenne de l'oscillation de l'eau. J'ai ainsi obtenu la durée de l'oscillation aux différentes profondeurs d'eau, pour la même longueur du bassin. J'ai cherché ensuite à diviser la longueur de l'onde au moyen de diaphragmes verticaux, que j'ai, après divers essais, formés à l'aide d'un boyau de bœuf rempli de sable fin et bien tassé ; j'ai pu ainsi obtenir différentes longueurs d'onde et étudier pour chacune d'elles la durée du balancement à différentes profondeurs de l'eau.

Je résume les moyennes obtenues dans ces diverses expériences dans le tableau suivant :

Profondeur de l'eau en centimètres.	Durée en secondes de l'oscillation du balancement alors que le bassin présente une longueur en millimètres de						
	325	430	570	660	810	945	1300
5	1.20	1.30	1.70	1.90	2.25	2.60	3.65
10	0.67	0.10	1.20	1.30	1.65	1.85	2.56
15	0.60	0.80	1.0fl	1.10	1.30	1.55	2.20
20	0.60	0.70	0.90	1.00	1.10	1.30	1.95
25	0.60	0.70	0.85	0.90	1.00	1.20	1.80
30	0.60	—	—	—	—	1.20	1.67
35	—	—	—	—	—	—	1.60

Si nous étudions sur la figure 9, où sont tracés graphiquement ces chiffres, en prenant pour abcisses la profondeur de l'eau, et pour ordonnées la durée du balancement aux diverses longueurs du bassin, nous pouvons en tirer les observations suivantes :

1° La rapidité d'oscillation augmente pour la même longueur du bassin à mesure que la profondeur augmente.

2° Cette augmentation, très forte alors que la profon-

deur est peu considérable, diminue d'importance à mesure que la profondeur atteint certaines limites. Les courbes obtenues pour chaque longueur d'onde ont toutes la tendance à devenir horizontales à partir d'un certain moment et quelques-unes le deviennent.

Il y a donc pour chaque longueur d'onde une profondeur à partir de laquelle la rapidité d'oscillation due au peu de profondeur cesse d'augmenter ; il y a pour chaque longueur d'onde une vitesse d'ondulation absolue qui n'est plus influencée par la profondeur de l'eau.

3° Plus l'onde est courte, plus rapidement est obtenue cette vitesse absolue. Ainsi, dans mes expériences, j'ai atteint cette vitesse absolue :

Par	325	mill. de longueur d'onde	à	15	cent. de profondeur.
»	430	»	»	20	»
»	145	»	»	25	»
»	1300	»	»	je ne l'ai pas atteinte à	

35 centimètres de profondeur.

4° Cette vitesse absolue augmente à mesure que l'onde est plus courte. Plus les dimensions du bassin sont grandes, autrement dit, plus la vague est longue, plus longue est la durée de celle-ci. D'après mes expériences et en corrigeant par un tracé graphique les erreurs d'observation, j'estime approximativement la durée absolue de la vague

Par	0^m50	de longueur d'onde	à	0,75	seconde.
»	0^m75	»	»	1,00	»
»	1^m00	»	»	1,25	»
»	1^m25	»	»	1,50	»

De cette série d'expériences, je tire les lois suivantes de l'oscillation fixe dans sa forme d'ondulation de balancement :

I. *La durée de la vague augmente avec la longueur du bassin.*

II. *Au-dessous et jusqu'à une certaine limite de profondeur la durée de la vague diminue à mesure que la profondeur de l'eau augmente.*

III. *Cette limite de profondeur à laquelle la durée de la vague cesse d'être influencée par la profondeur est d'autant plus vite atteinte que le bassin est moins long.*

Ou, sous une autre forme: La vague est d'autant plus rapide que le bassin est plus court et plus profond.

Les expériences dont je viens de donner les résultats ont été faites alors que l'appareil était placé horizontalement pendant le balancement. La profondeur d'eau était la même aux deux extrêmités.

J'ai voulu chercher si l'inclinaison du fond influencerait la durée de l'ondulation, et pour cela, après avoir donné l'impulsion à mon appareil, j'ai compté la durée de l'ondulation alors que le plancher du bassin était incliné et qu'à l'une de ses extrémités l'eau était plus profonde qu'à l'autre. Ces expériences ont été faites dans le bassin à la longueur maximum, soit $1^{m}30$.

Je donne, dans le tableau suivant, les chiffres que j'ai ainsi obtenus, en y intercalant, pour permettre la comparaison, les valeurs que j'avais trouvées alors que le plancher du bassin était horizontal.

Profondeur de l'eau (en centimètres).			Durée moyenne d'une ondulation en secondes de temps
maximum	minimum	moyenne	
1	5	3	4.83
—	—	5	3.65
5	9	7	3.05
6	10	8	2.87
—	—	10	2.56
10	14	12	2.35
11	15	13	2.25
—	—	15	2.20
15	19	17	2.10
—	—	20	1.95
—	—	25	1.80
—	—	30	1.67
—	—	35	1.60

J'ai repris cette expérience sous une autre forme. J'ai mis dans mon appareil une certaine quantité d'eau et j'ai provoqué des ondes de balancement en inclinant de plus en plus le bassin. Voici les chiffres que j'ai obtenus par une profondeur d'eau moyenne de 5 centimètres.

Profondeur de l'eau aux deux extrémités en millimètres		Durée moyenne en secondes d'une ondulation
50	50	3.6
70	30	3.6
91	9	3.8

D'après ces expériences, il ne semblerait pas que l'inclinaison du plancher du bassin ait une influence sensible sur la durée de la vague de balancement.

Un point de vue fort important pour l'histoire des seiches était la détermination de l'amplitude ou hauteur de la vague et les relations de cette hauteur avec les diverses profondeurs. Je n'ai malheureusement pas pu consacrer beaucoup de temps à cette expérimentation. Voici cependant ce que j'ai constaté.

J'ai d'abord, en plaçant mon bassin horizontal, et en ayant soin de donner la même impulsion primitive, comparé la hauteur de la vague à différentes profondeurs. Pour ces comparaisons, j'ai choisi la seconde vague.

Par une profondeur de 5 centimètres, je lui ai trouvé 9mm
» » 20 » » 6mm
au-dessus du niveau primitif de l'eau. De là je tire la loi :

IV. *La hauteur de la vague augmente à mesure que la profondeur d'eau diminue.*

Ensuite, avec une profondeur de 5 centimètres, j'ai incliné le plancher du bassin de manière à ce qu'il y eût en profondeur d'eau, à l'une des extrémités 91, à l'autre, 9 millimètres. J'ai mesuré la hauteur de la première vague à son retour, à 12 centimètres de chaque extrêmité, après avoir donné des impulsions également fortes. J'ai trouvé :

Par 85 mill. de fond, hauteur de la vague de retour, 7 mill.
» 15 » » » 11 »
au-dessus du niveau primitif de l'eau. De cette expérience, je tire la conclusion :

V. *Dans un bassin dont le fond est incliné, la hauteur de la vague est plus forte à l'extrémité moins profonde, moins forte à l'extrémité plus profonde.*

Ces deux dernières lois se justifieraient facilement par l'étude du déplacement de l'eau, dont l'intensité augmente

à mesure que le rapport entre la hauteur de la vague et la profondeur de l'eau augmente.

Il est encore un fait que je dois signaler dans l'ondulation du balancement, c'est que si mouvement de déplacement horizontal des molécules d'eau est le même sur toutes la longueur du bassin, il n'en est pas de même du déplacement vertical. La hauteur de la vague est à son maximum aux deux extrêmités; elle est nulle au milieu. Si nous comparons ce mouvement à la vibration d'une corde, nous dirons qu'il y a un nœud de mouvement au milieu du bassin, un ventre à chaque extrêmité. D'où la loi :

VI. *La hauteur de la vague d'ondulation de balancement est nulle au milieu du bassin et a son maximum aux deux extrémités.*

Enfin, il est une loi qui dérive de la définition même de l'oscillation de balancement et qui est évidente à la première observation, c'est la simultanéité du mouvement dans tout le bassin. C'est ce que je formule ainsi :

VII. *Le mouvement d'oscillation de balancement est simultané dans toutes les parties du bassin.*

V.

Comparaisons et conclusions.

Après avoir, dans les pages précédentes, cherché les lois de l'ondulation de balancement dans un bassin de petites dimensions, revenons aux seiches du lac Léman et cherchons si ces lois sont en harmonie ou en contradiction sur ce que nous observons dans la nature, si oui ou non

nous pouvons rapprocher de l'oscillation de balancement les seiches des grands bassins d'eau.

Nous avons constaté :

1° Que l'amplitude des seiches est fort différente d'une seiche à l'autre. Nous expliquons ce fait par la différence d'intensité de l'action génératrice du mouvement, dans la théorie de la variation de pression barométrique sur une région du lac.

2° Que l'amplitude des seiches est fort différente d'une région à l'autre du lac. Les seiches sont beaucoup plus fortes à Genève qu'à Morges et dans le grand lac. Bertrand, Saussure et Vaucher expliquaient ce fait par le retrécissement du lac dans les environs de Genève. Sa largeur diminuant insensiblement, la vague de la seiche subirait la même augmentation de hauteur que le flux de la marée dans les golfes en forme d'entonnoir. La marée est plus forte au fond du golfe de Gascogne ou à Saint-Malo que sur les côtes de la Bretagne et en plein océan. J'accepte sans hésitation cette explication ; mais je crois devoir y ajouter trois autres raisons déterminantes de cette augmentation de l'amplitude des seiches dans le petit lac. L'étude de l'oscillation de balancement m'a, en effet, montré les faits suivants :

a) La hauteur de la vague augmente à mesure que la profondeur de l'eau diminue. (Loi IV.) Le grand lac est plus profond que le petit lac près de Genève. C'est dans le petit lac que les seiches doivent être les plus fortes.

b) Dans un bassin dont le fond est incliné, la hauteur de la vague est plus forte à l'extrêmité la moins profonde ; moins forte à l'extrêmité la plus profonde. (Loi V.) Le lac Léman est précisément dans ce cas ; la profondeur moyenne allant considérablement en diminuant du grand lac au petit

lac, nous sommes en présence d'un bassin dont le plancher est incliné, et la plus faible profondeur étant du côté de Genève, c'est là que les vagues doivent être les plus fortes.

c) La hauteur de la vague est nulle au milieu du bassin et a son maximum aux deux extrêmités. (Loi VI.) Le bassin étant sensé régulier et à plancher horizontal, cette loi suffirait pour nous expliquer la différence de hauteur des vagues des seiches, qui sont plus fortes à Villeneuve et à Genève qu'à Morges.

3° Nous avons constaté que la durée des seiches est variable d'une seiche à l'autre dans la même localité. Notre première loi dit que la durée de l'ondulation varie avec la longueur de l'onde. Plus le bassin est long, plus la vague de balancement est lente. Or, si la théorie de Vaucher est exacte, si la seiche est une vague de balancement déterminée par une rupture d'équilibre de l'eau, par suite d'une variation de la pression barométrique en un point quelconque du lac, il est facile de comprendre que, suivant le point d'où l'impulsion est partie, la vague peut être plus ou moins longue pour une même localité. Si nous sommes à Morges, nous pouvons voir partir l'impulsion déterminante d'une seiche de tous les points de la côte de Savoie, dont les plus rapprochés ne sont qu'à 11 kilomètres, les plus éloignés à 30 ou 35. Qu'une vague de balancement s'établisse entre Evian et Morges, elle sera plus courte et par conséquent plus rapide qu'une vague qui oscillera de Villeneuve à Morges. Il en sera de même à Genève, où nous pourrons avoir des seiches plus longues, dont l'oscillation se fera suivant le grand diamètre du lac, et des seiches plus courtes (Obs. VIII de Vaucher),

dont le point d'origine sera peut-être au milieu de la longueur du lac.

4° Nous avons constaté que la durée des seiches est plus longue à Genève qu'à Morges. La loi que nous venons de rappeler montre que les seiches qui oscillent suivant le grand axe d'un bassin sont plus lentes que celles dirigées suivant l'un des petits axes. Genève étant à l'extrêmité du grand axe, ses seiches doivent avoir le maximum de durée. Il doit en être probablement de même à Villeneuve.

Mais, dira-t-on, si une ondulation de balancement fait osciller l'eau du lac de Villeneuve à Genève et réciproquement, ce mouvement doit passer devant Morges et avoir lieu simultanément avec le mouvement de Genève à Villeneuve (Loi VII) ; par conséquent vous devez pouvoir observer à Morges les seiches que nous constatons à Genève, et leur durée doit être la même à Morges qu'à Genève. A cette objection, je répondrai par ma loi VI, qui dit que la hauteur de la vague de balancement est nulle au milieu du bassin et a son maximum aux deux extrêmités. Morges étant située, à quelques kilomètres près, à égale distance des deux extrêmités du lac, quand une seiche fait balancer l'eau du lac de Genève à Villeneuve, nous sommes à Morges près du nœud du mouvement, et nous ne pouvons observer de dénivellation sensible. C'est cette remarque qui m'a fait mettre en doute que les seiches observées simultanément à Morges et à Genève, le 16 novembre 1854, (fig. 6) appartinssent à la même impulsion, fussent le produit de la même oscillation.

Si l'on rapproche encore des grandes seiches du lac ce que j'ai décrit des petites seiches du port de Morges,

dont la durée est beaucoup moindre et correspond aux dimensions restreintes du bassin, l'on arrivera, je le pense, à la conclusion que les seiches appartiennent, par leurs allures, à l'oscillation de balancement d'un bassin d'eau et répondent suffisamment aux lois que l'expérience attribue à ce mouvement.

Il y a, cependant, un point qui aura frappé le lecteur, c'est celui de l'irrégularité des seiches ; irrégularité dans l'amplitude des diverses vagues d'une même seiche, irrégularité dans leur durée. Cette irrégularité n'est pas méconnaissable et se constate, au premier coup-d'œil, aussi bien dans les observations de Genève que dans celles de Morges. Je l'attribue à l'irrégularité de la forme du lac : si le lac formait une figure régulière, un rectangle, une ellipse ou un losange régulier, l'ondulation de balancement suivrait des allures régulières, isochrones et égales, ou, du moins, décroissant régulièrement d'intensité et de durée, suivant des lois parfaitement déterminées. Et encore faudrait-il, pour qu'une régularité absolue existât dans les vagues de balancement, que l'impulsion première eût été donnée en un point précis, à déterminer suivant la forme du bassin.

Mais, dans un bassin irrégulier comme le lac Léman, avec sa forme générale de croissant, plus large et plus profond à l'une de ses extrémités qu'à l'autre, avec ses golfes et ses promontoires, l'on ne peut attendre une régularité absolue dans de tels mouvements. Les réflexions de vagues, les croisements d'ondes, les interférences doivent, au contraire, être telles et si nombreuses que l'on ne peut s'étonner que d'une chose, c'est de la régularité qui reste à ces mouvements.

Fig: 1.

Genève, 4 Décembre 1802.

(Vaucher, Obs. III).

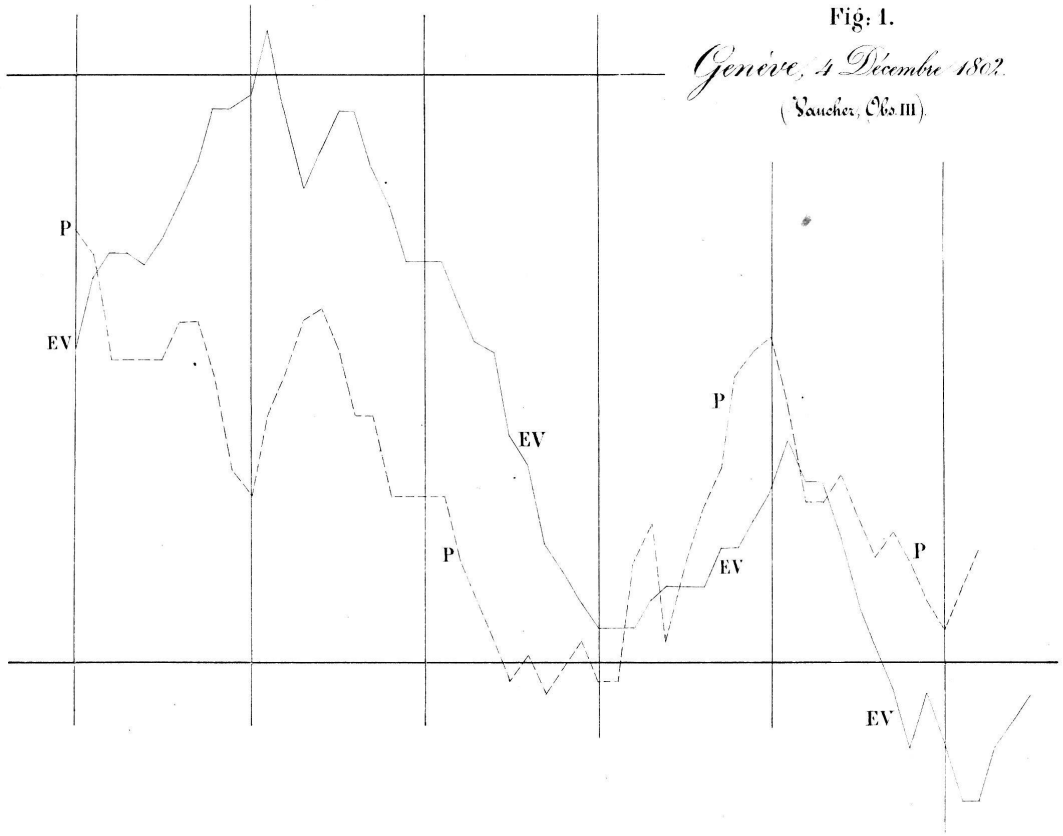
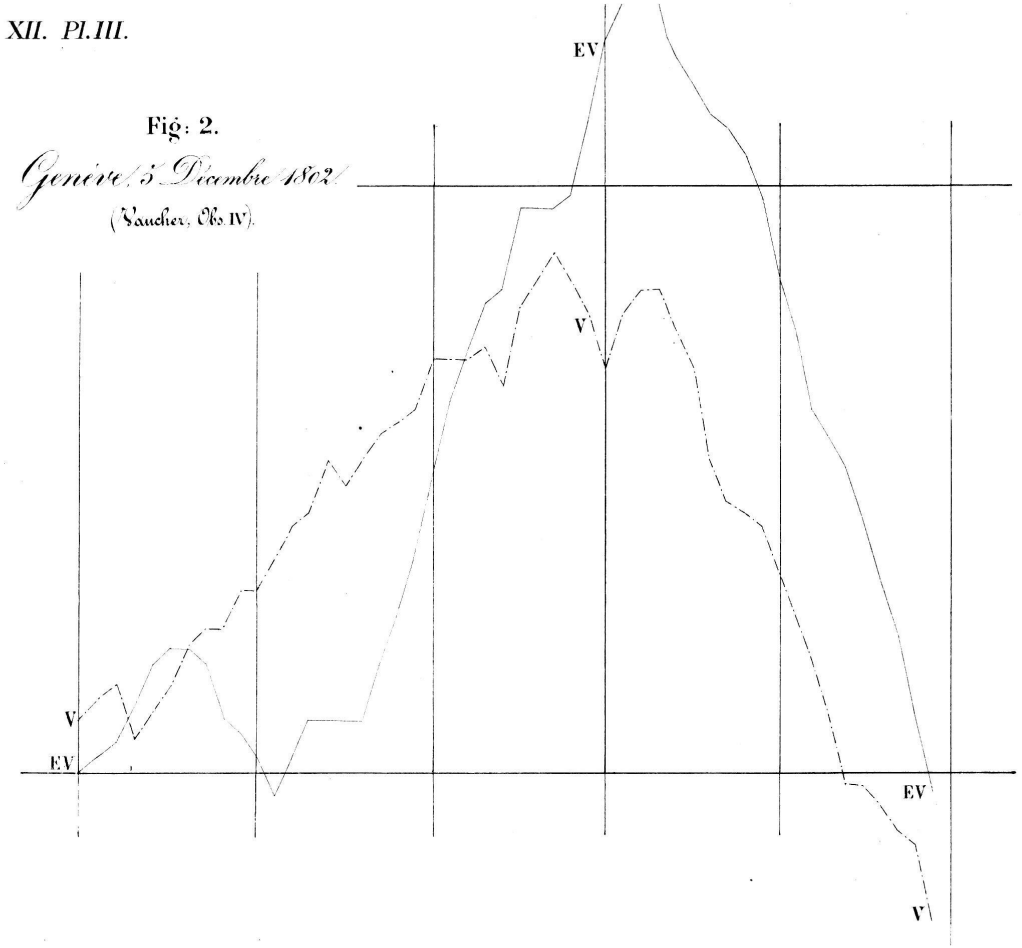


Fig: 2.

Genève, 5 Décembre 1802.

(Vaucher, Obs. IV).



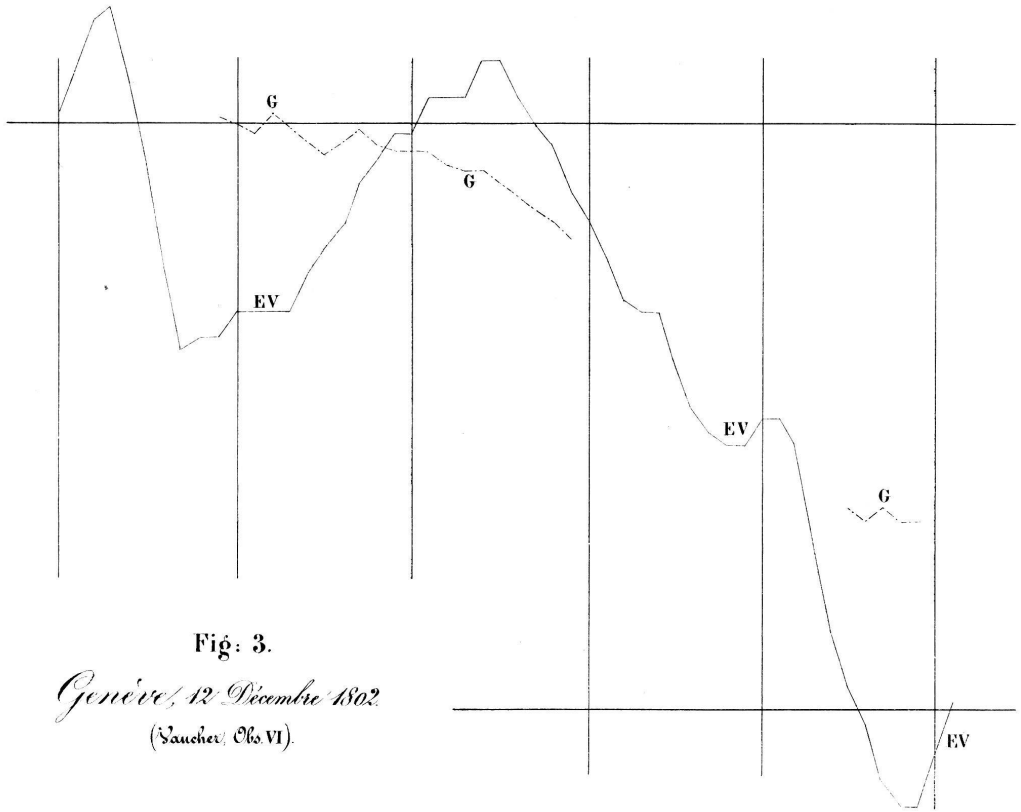


Fig: 3.

Genève, 12 Décembre 1802.

(Vaucher, Obs. VI).

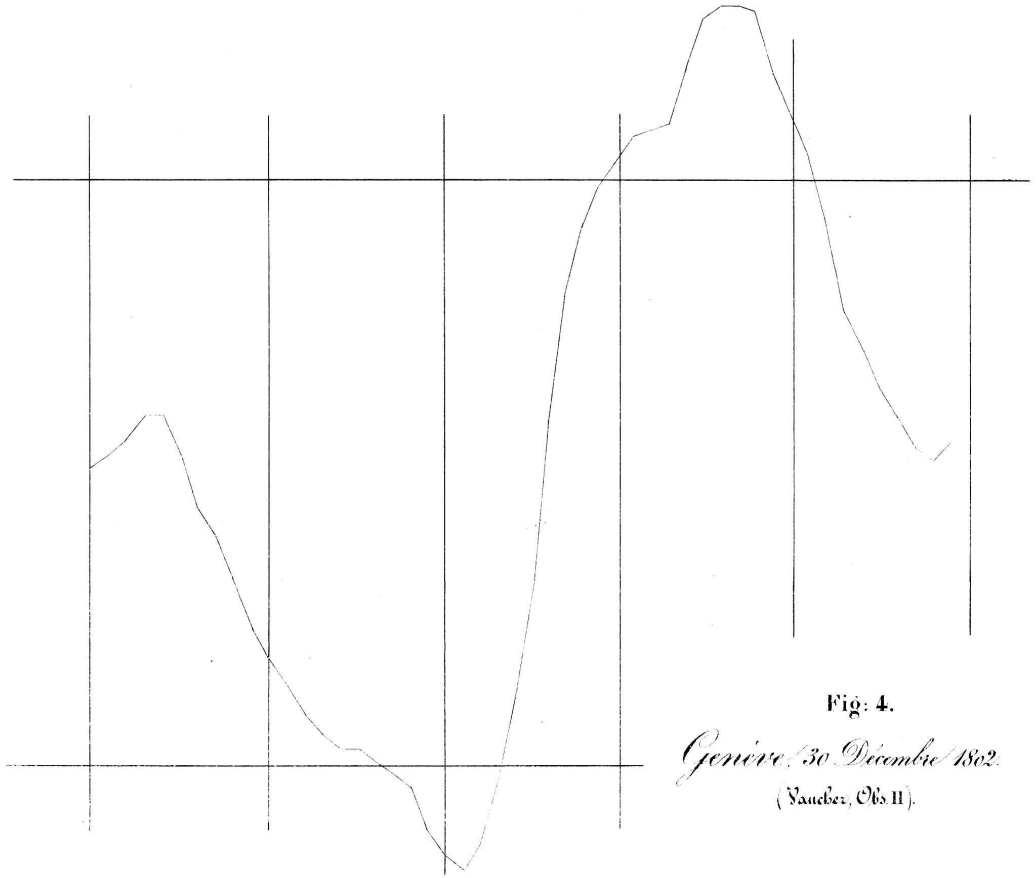


Fig: 4.

Genève, 30 Décembre 1802.

(Vaucher, Obs. II).

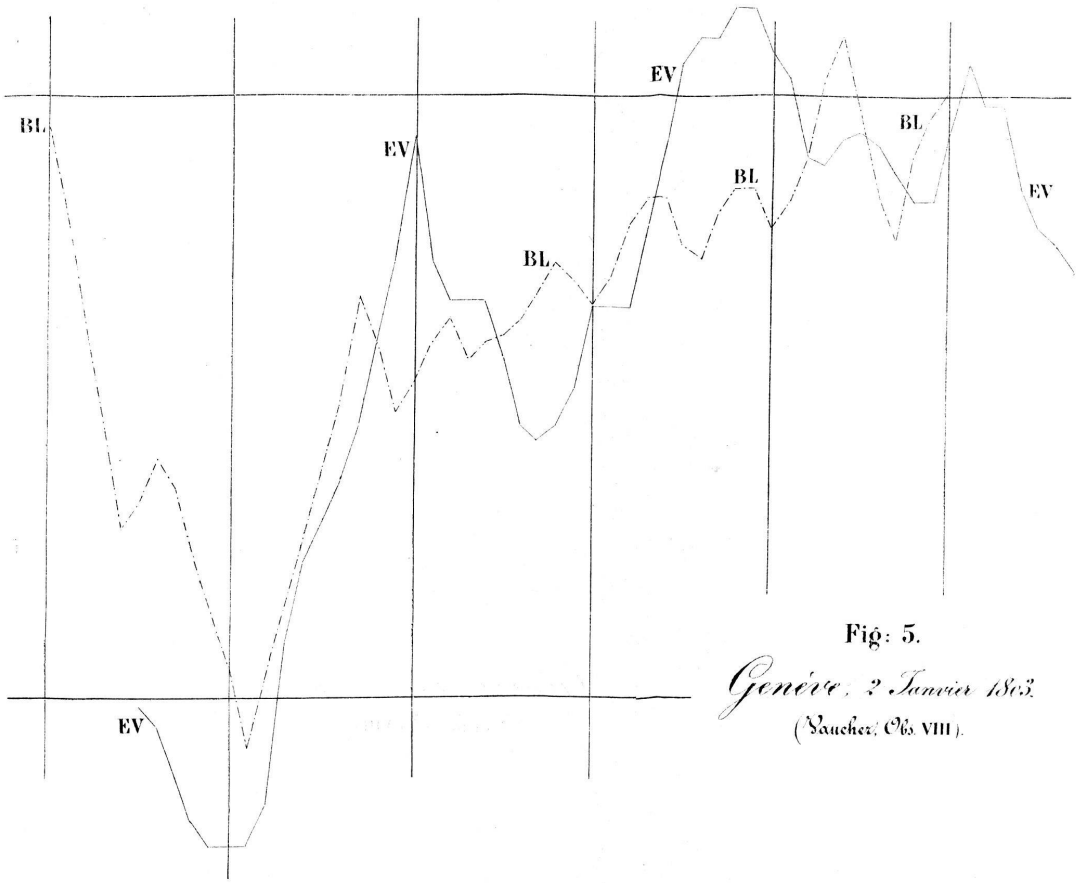


Fig: 5.

Genève, 2 Janvier 1863.

(Vaucher, Obs. VIII).

Fig: 6.

Morges, 3 Décembre 1854.

(Yersin).

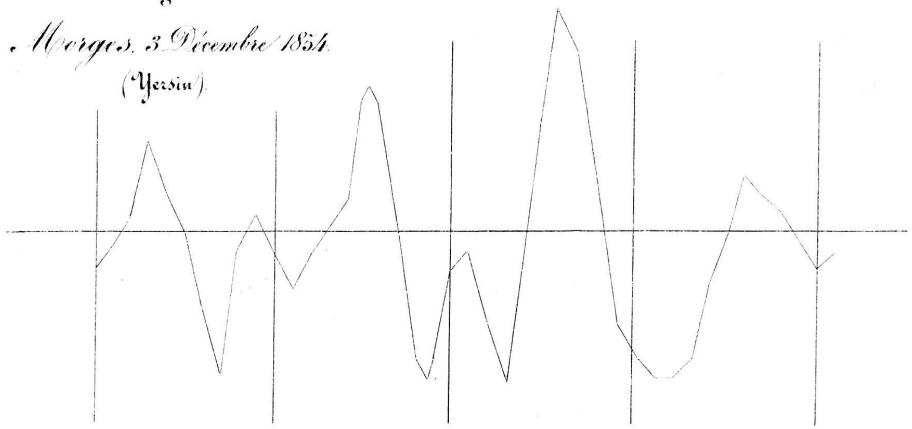
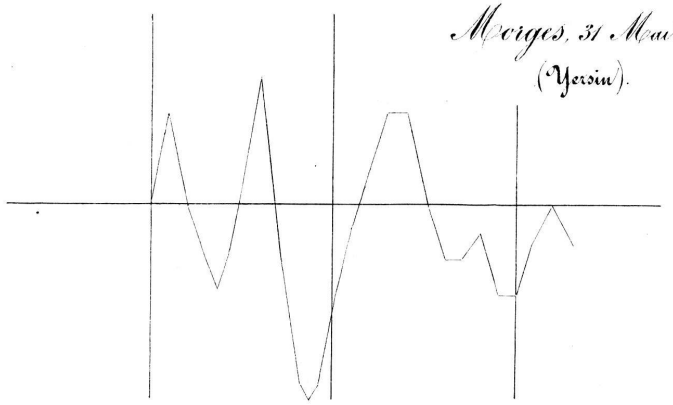


Fig: 7.

Morges, 31 Mai 1855.

(Yersin).



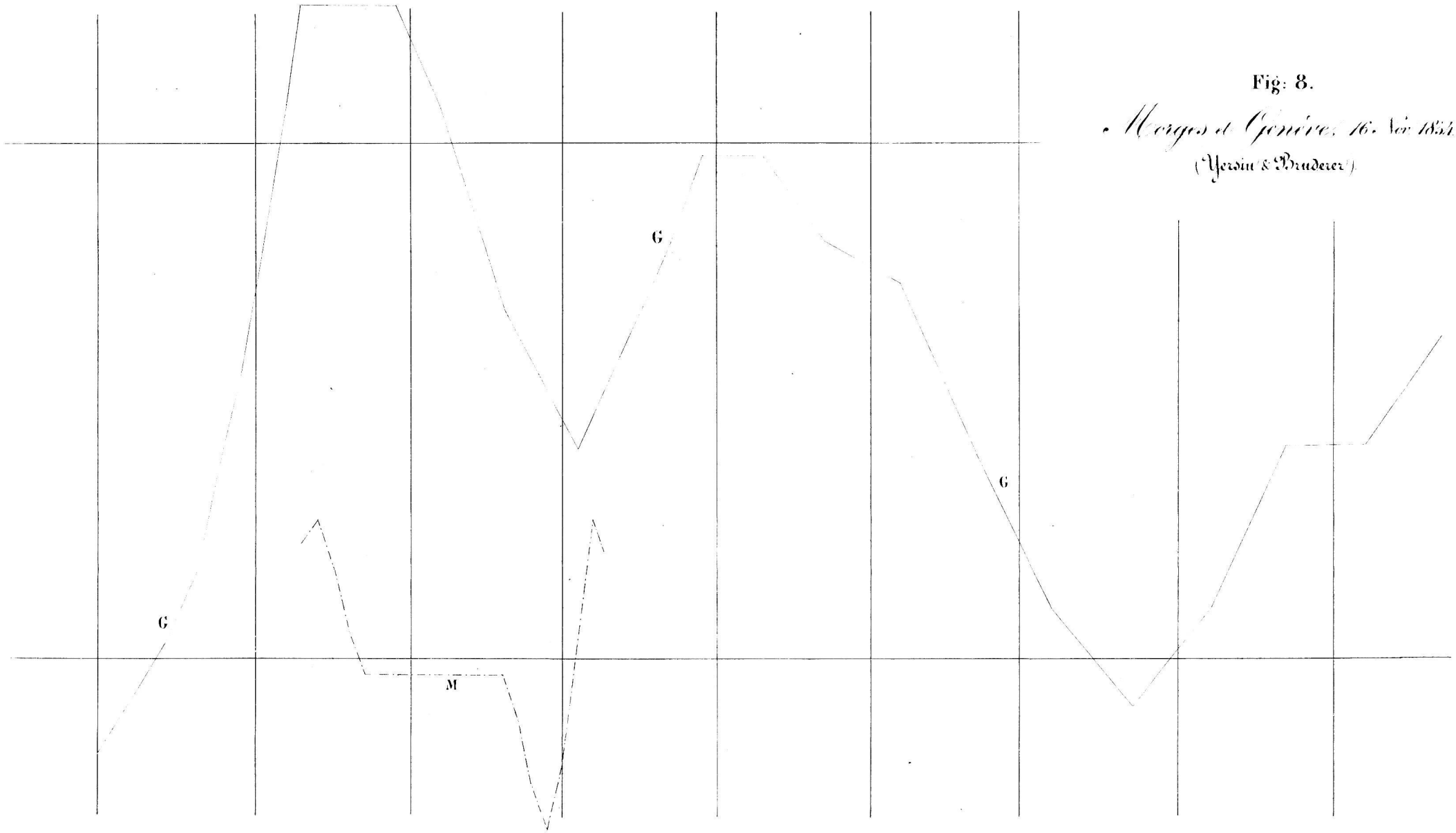
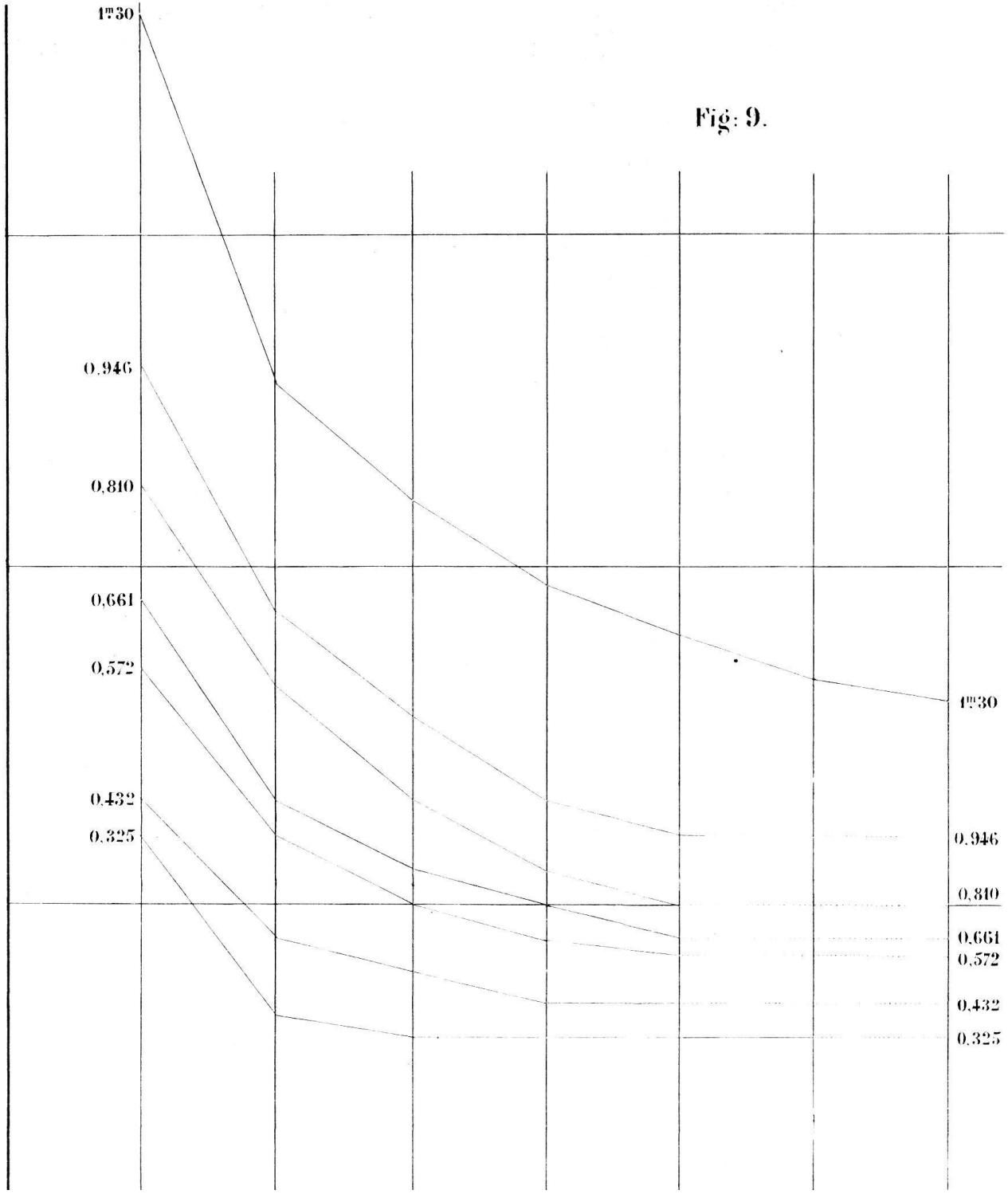


Fig: 8.

Morges et Genève, 16. Nov. 1854.

(Yersin & Bruderer)

Fig: 9.


1m30
0.946
0.810
0.661
0.572
0.432
0.325
1m30
0.946
0.810
0.661
0.572
0.432
0.325

La conclusion générale que je tirerai de cette étude c'est qu'il faut rapporter les seiches à une ondulation de balancement déterminée dans le lac, suivant un diamètre différent pour les différentes seiches, par une variation de la pression barométrique en un point de la surface (Saussure et Vaucher) ou par une secousse de tremblement de terre (Guillemin).

Je signalerai, en terminant, les points qui me semblent mériter une étude ultérieure. Il y aurait intérêt :

1° A étudier les seiches à l'extrémité orientale du lac, à déterminer exactement leur durée (30) et en vérifiant leur amplitude, à constater qu'elles y sont plus fortes qu'à Morges et plus faibles qu'à Genève.

2° A reprendre les expériences de comparaison de Vaucher dans les environs de Genève et à reconnaître si, oui ou non, il y a simultanéité dans les mouvements d'une même seiche dans deux stations inégalement distantes de l'extrémité du lac.

3° A faire une étude simultanée des seiches à Genève et à Villeneuve, à reconnaître si, dans une même seiche, on pourrait constater alternance ou simultanéité des mouvements aux deux extrémités du lac.

4° A mesurer exactement la durée des seiches dans d'autres lacs pour reconnaître si cette durée augmente avec la grandeur du bassin.

(30) C'est si je ne me trompe l'observation la plus importante à faire. Si la seiche est réellement une vague de balancement, suivant un diamètre quelconque du lac, elle doit avoir à Villeneuve une durée plus considérable qu'à Morges, et se rapprocher par la durée de celles de Genève. Cette observation jugera la question.

5° A observer la coïncidence des fortes seiches avec les secousses de tremblement de terre.

C'est à rappeler l'attention des naturalistes sur cette étude que cette notice est destinée.

Post-scriptum. J'ai la satisfaction d'annoncer que j'ai pu vérifier expérimentalement l'un des points que j'indiquais comme probables en terminant l'étude présente. Une série d'observations que je viens de faire à l'extrémité orientale du lac me permet de formuler les conclusions suivantes que, pour ne pas retarder la publication de ce bulletin, je dois me réserver de justifier dans une seconde étude :

1° Les seiches ont, à l'extrémité orientale du lac, une durée beaucoup plus considérable qu'à Morges et sont très analogues, à ce point de vue, à celles de Genève.

2° Les seiches ne sont pas, comme on l'a cru jusqu'à présent, un phénomène accidentel. Elles existent normalement et leur absence est un fait exceptionnel.

Explication des Planches.

FIGURES 1 A 8.

Tracés graphiques de quelques seiches observées à Genève et à Morges. Les abcisses donnent à l'échelle réelle la hauteur de l'eau aux divers temps d'observation ; les droites horizontales indiquent une hauteur de 10 centimètres, mais ne correspondent point à des niveaux connus. Les ordonnées donnent le moment de l'observation à l'échelle de 3 millimètres pour une minute de temps ; les droites verticales correspondent à une durée de 10 minutes.

FIGURE 1.

Seiches du 4 décembre 1802, commencées à 1 h. 6 m. soir. IIIe observation de Vaucher.

La courbe E V donne l'observation faite à la station des Eaux-Vives, à l'angle des fortifications, point qui correspond à peu près à l'extrémité orientale du Jardin anglais actuel. Cette station peut être considérée comme étant à l'extrémité du lac, sur la rive gauche.

La courbe P donne l'observation des seiches faites aux Pâquis, à un quart de lieue environ de l'extrémité du lac, sur la rive droite.

FIGURE 2.

Seiches du 5 décembre 1802, à 9 h, 43 m. matin. IVe observation Vaucher.

Courbe E V, station des Eaux-Vives.

Courbe V, station du Vangeron, à trois quarts de lieue de Genève, sur la rive droite du lac.

FIGURE 3.

Seiches du 12 décembre 1802, à 9 h. 3 m. matin. VIe observation Vaucher.

Courbe E V, station des Eaux-Vives.

Courbe G, station de Genthod, à une lieue de Genève, rive droite.

FIGURE 4.

Seiches du 30 décembre 1802, à 1 h. 10 m. soir. IIe observation Vaucher.

Station des Pâquis, vis-à-vis de la station des Eaux-Vives, soit à l'extrémité du lac, rive droite.

FIGURE 5.

Seiches du 2 janvier 1803, à 10 h. 10 m. matin. VIIIe observation Vaucher.

Courbe E V, station des Eaux-Vives.

Courbe B L, station des Bains Lullin, sur la rive gauche, à un quart de lieue de la station des Eaux-Vives.

FIGURE 6.

Seiches du 3 décembre 1854, à 10 h. 35 m. matin. Yersin.

Dans le port de Morges. Cette seiche a déjà été figurée, à une autre échelle, dans ce bulletin, vol. IV, p. 412.

FIGURE 7.

Seiches du 31 mai 1855, à 2 h. 1 m. soir. Burnier, Ch. Dufour et Yersin.

Dans le port de Morges.

FIGURE 8.

Seiches du 16 novembre 1854, à 4 h. 13 m. soir.

Courbe G. Observation faite par M. Bruderer, au limnimètre du Grand-Quai, à Genève.

Courbe M. Observation faite, dans le port de Morges, par Yersin.

FIGURE 9.

Tableau de la durée des ondes de balancement pour diverses profondeurs d'eau et pour différentes longueurs du bassin.

Echelle des abcisses ; 2 centimètres = 5 centimètres de profondeur d'eau.

Echelle des ordonnées : 5 centimètres = 1 seconde de durée de la vague de balancement.

Chacune des courbes correspond à une longueur différente du bassin dont la valeur est indiquée sur la figure.