

Le limnimètre enregistreur transportable d'Edouard Sarasin

Stéphane FISCHER*

Ms. reçu le 18 juillet 2012, accepté le 13 novembre 2012

Abstract

Edouard Sarasin's transportable and recording limnigraph. – The Museum of history of science (Musée d'histoire des sciences) of Geneva recently found among a set of old scientific instruments received from the Institute of Physics of the University of Geneva two recording limnigraphs that belonged to the Geneva scientist Edouard Sarasin (1843-1917). These apparatuses, which measure the level of water of the lake of Geneva and its variations, allowed Sarasin to provide new experimental evidence adding to the studies of Forel on the «seiches», the mini tides that occur on the lake of Geneva.

Keywords: Limnigraph, seiches du Léman, Edouard Sarasin, scientific instruments, Forel

Résumé

Le Musée d'histoire des sciences de Genève a retrouvé récemment parmi un lot d'instruments scientifiques anciens provenant de l'Institut de physique de l'Université de Genève, deux limnimètres enregistreur d'Edouard Sarasin (1843-1917). Ces appareils, qui mesurent le niveau d'eau du lac et ses variations, ont permis à Sarasin d'apporter une nouvelle preuve expérimentale aux thèses de Forel sur les seiches du Léman.

Mots-clés: Limnimètre, seiches du Léman, Edouard Sarasin, Instruments scientifiques, Forel

L'art de mesurer le niveau du lac

Parmi un lot d'instruments anciens cédé l'été dernier par l'Institut de physique de l'Université de Genève au Musée d'histoire des sciences se trouvaient deux caisses massives en bois noir. Sur l'une d'elles était fixée une étiquette à moitié déchirée sur laquelle on pouvait lire «instrument de Sarasin». Leur contenu – un rouleau de papier entraîné par un mouvement d'horlogerie surmonté d'un porte-stylet traceur, rappelle celui d'un enregistreur primitif ou d'un kymographe utilisé en physiologie pour tracer des mouvements musculaires. Plusieurs ouvertures circulaires dans la caisse en bois laissent supposer que cet enregistreur devait probablement être relié par un dispositif mécanique à l'extérieur. Malheureusement, les deux instruments sont en piteux état. Le chariot mobile qui porte le crayon traceur ainsi que le système de transmission ont disparu. A quel type de mesure pouvait bien servir cet enregistreur? (Fig. 1)



Fig. 1. Le limnigraphe enregistreur de Sarasin. Collection du Musée d'histoire des sciences, Genève, © MHS.

* Musée d'histoire des sciences, 128 rue de Lausanne, CH-1202 Genève. E-mail: stephane.fischer@ville-ge.ch

Après quelques recherches bibliographiques, il s'avère que ces deux appareils sont des limnimètres (appelés aussi limnographes ou limnigraphes) enregistreurs portatifs, destinés à la mesure de la hauteur des eaux du lac ayant appartenu au savant genevois Edouard Sarasin (1843-1917) (Fig. 2), et que ce dernier a fait construire par la Société genevoise d'instruments de physique (SIP) vers 1879.



Fig. 2. Portrait d'Edouard Sarasin (De La Rive 1917).

Physicien formé en France et en Allemagne, Sarasin travaille à Genève avec plusieurs savants genevois dont Auguste de la Rive (phosphorescence des gaz) et Louis Soret (propriétés optiques du quartz). Vers 1890, il entreprend de vérifier expérimentalement avec Lucien de la Rive, fils d'Auguste, certaines propriétés des ondes électromagnétiques, en particulier leur mode de propagation dans l'air, récemment découvertes par le physicien allemand Heinrich Rudolf Hertz. Par ailleurs, Sarasin sera secrétaire de la Société de Physique et d'Histoire naturelle entre 1869 et 1891 et président en 1892. Il dirigera aussi pendant de longues années la revue *Archives des sciences physiques et naturelles*.

Sarasin ne s'intéresse pas qu'à des sujets de physique expérimentale. Captivé par le lac Léman, «cette nappe d'eau majestueuse que les pulsations régulières font participer à la marche du temps», (De la Rive 1917; p. 326) il collabore en 1879 avec F.A. FOREL

(1841-1912), naturaliste et archéologue vaudois, considéré comme le père fondateur de la limnologie (étude des lacs), et le physicien et chimiste genevois Ph. Plantamour (1816-1898) à l'étude du des seiches sur le Léman. Sortes de petites marées lacustres, les seiches font l'objet de recherches approfondies de la part de Forel qui parviendra à déterminer les lois d'oscillation de ces variations locales du niveau du lac (Forel 1895; p. 295-213).

Pour effectuer les mesures du niveau des eaux du lac, Forel et ses collègues disposent de plusieurs instruments. Le plus rudimentaire, mais aussi le plus répandu alors est la fameuse règle ou échelle graduée, appelée aussi échelle limnimétrique, scellée verticalement au mur d'un quai dans un port et dont l'extrémité inférieure est toujours immergée. Le problème de ces instruments est que leur lecture n'est pas continue. Les relevés s'effectuent par des gardesports ou des gendarmes à des heures différentes d'un lieu à l'autre.

Forel observe aussi la direction des courants à l'entrée d'un étang ou d'un port en relation avec le lac. Un courant d'entrée signale une montée des eaux, un courant sortant indique une baisse des eaux. Le savant vaudois met ainsi au point un petit appareil, le *plémyramètre*, destiné à observer les seiches lors de faibles variations du niveau des eaux et lorsque les vagues empêchent une lecture correcte sur les règles verticales (Fig. 3). Il s'agit d'un simple bassin de zinc ou en bois d'une dizaine de centimètres de profondeur qui est enterré dans la grève de manière à ce que son fond soit un peu au-dessous de celui du niveau du lac. Le bassin est connecté au lac par le biais d'un tuyau de caoutchouc qui agit comme un siphon. Quand le niveau du lac monte, l'eau pénètre dans le siphon et remplit le bac. Dans le cas contraire, le siphon se vide. Pour vérifier le sens du courant, Forel intercale le long du tuyau de caoutchouc un tube en verre dans lequel flotte une petite sphère en cire. Suivant la direction du courant, la sphère se plaque contre l'une ou l'autre extrémité du tube. Selon Forel, la sensibilité de son appareil est extrême et permet de mettre en évidence des variations de hauteur de l'ordre du millimètre, voir du dixième de millimètre (Forel 1895; p. 89).

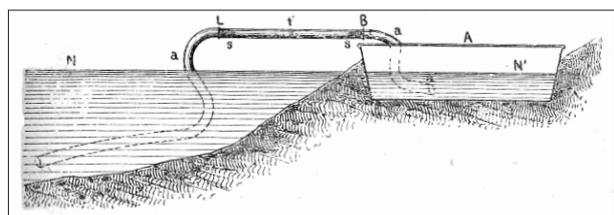


Fig. 3. Le plémyramètre de F.A. FOREL (Forel 1895; p. 89).

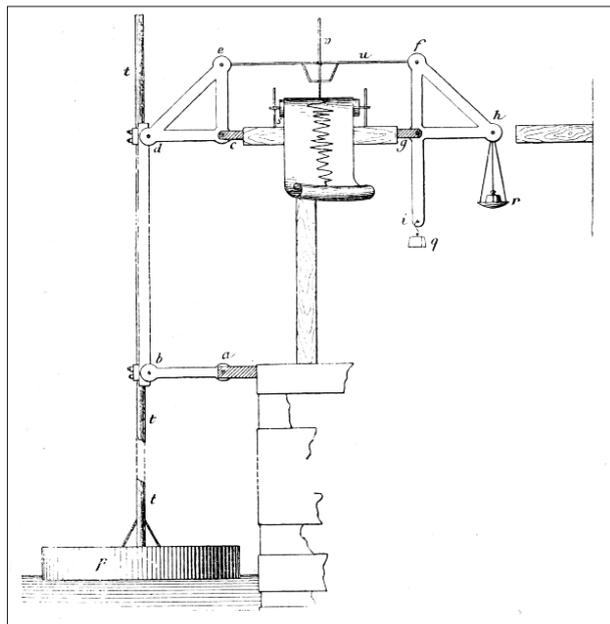


Fig. 4. Le limnigraphe fixe de F.A. FOREL (Forel 1895; p. 91).

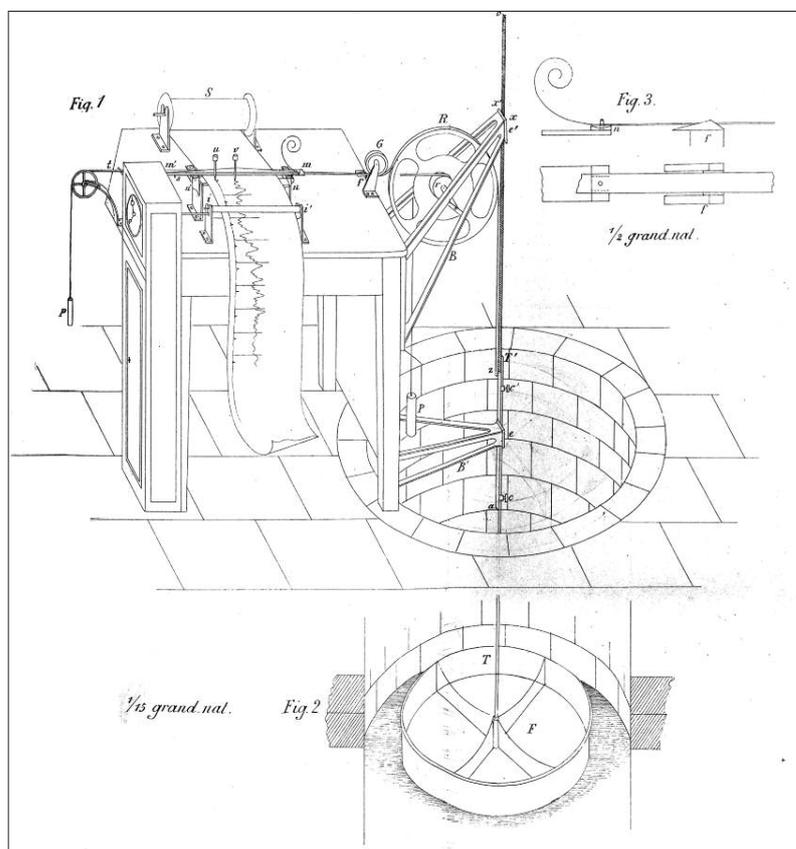
F.A. FOREL reconnaît cependant que la méthode la plus parfaite pour observer les seiches est celle du limnigraphe à flotteur aussi décrit à l'époque comme *limnimètre enregistreur* (Forel 1895; p. 90). Dérivés des marégraphes installés au bord de la mer, ils sont conçus pour mesurer et enregistrer le niveau du Léman durant une certaine période de temps. Leur principe de fonctionnement est plus ou moins identique. Les oscillations verticales d'un flotteur placé à la surface de l'eau sont transformées mécaniquement en tracés horizontaux qui s'inscrivent sur un rouleau de papier dont l'avancement est commandé par un mouvement d'horlogerie.

Vers 1880, trois appareils fixes de ce type sont installés sur les bords du lac Léman. Le plus ancien est celui que F.A. FOREL a établi dans son jardin sur les quais de Morges en 1876. Un puit en libre communication avec le lac abrite un flotteur relié par une longue tige verticale et un double parallélogramme articulé au chariot mobile supportant le crayon traceur installé sur la table d'enregistrement (Fig. 4). Un second instrument fixe est mis en fonction en 1880 à Thonon par les Ponts et Chaussées français.

Fig. 5. Le limnigraphe fixe de Plantamour (Plantamour 1878; Pl. VII).

Enfin, le troisième limnigraphe fixe se trouve à Genève sur la rive droite du lac à quelques pas des Pâquis. Il appartient au physicien et chimiste Ph. Plantamour (1816-1898) qu'il installe en 1877 dans un petit édifice au bord du lac (démoli puis reconstruit depuis, jouxtant sa propriété de famille de Sécheron (la villa Plantamour dans le parc Mont-Repos) (Fig. 5). Réalisé par la Société d'instruments de physique de Genève, l'instrument est disposé au-dessus d'un puit de 1 m 20 de profondeur relié au lac par une conduite souterraine horizontale. Sur la surface de l'eau repose un flotteur relié au système enregistreur par des rubans en cuivre qui s'enroulent autour de poulies à gorge. Les restes de ce limnigraphe sont conservés au Musée d'histoire des sciences de Genève. Quant au bâtiment, il sert aujourd'hui encore de station limnigraphique (Fig. 6). Un limnimètre à pression mesure continuellement le niveau du lac dans le cadre d'un projet national de surveillance hydrologique géré par l'Office fédéral de l'environnement et pour la régulation du débit des eaux du Rhône aux barrages du Seujet et de Verbois par les Services industriels de Genève.

Forel conçoit aussi un limnigraphe portatif pour procéder à des mesures itinérantes dans différents lieux du lac (Fig. 7). L'appareil se place dans un trou creusé dans la grève (Fig. 8).



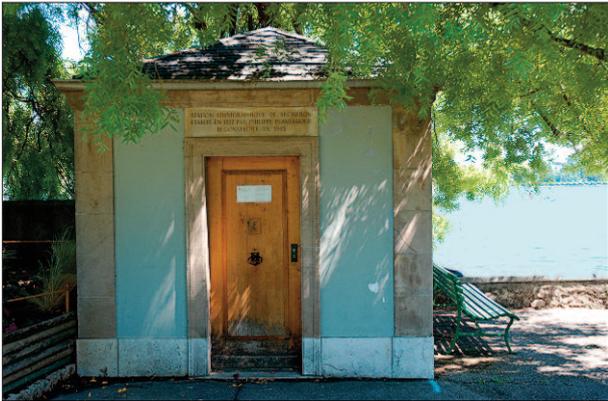


Fig. 6. La station limnigraphique de Sécheron, © MHS.

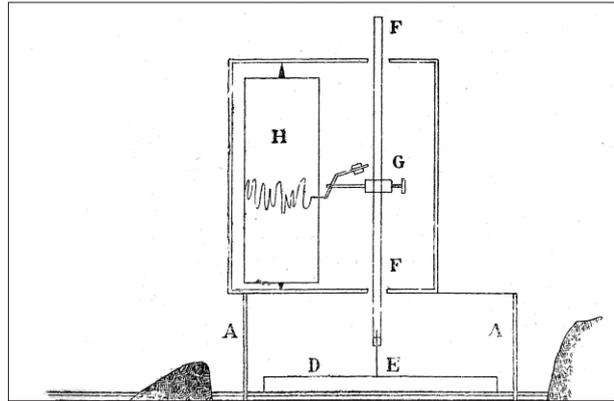


Fig. 8. Schéma du limnographe portable de F.A. FOREL (Forel 1895; p. 93).

Il est constitué d'une feuille de zinc circulaire qui sert de puit de mesure. L'eau du lac y parvient par un petit tuyau de caoutchouc. Le flotteur en zinc est relié au cylindre enregistreur vertical par une longue tige supportant le porte-crayon (Forel 1895; p. 92-93). L'appareil portable de F.A. FOREL présente toutefois le défaut d'être relativement fragile et de ne pouvoir être laissé sans surveillance. F.A. FOREL en est conscient. Dans son ouvrage phare *le Léman*, le savant vaudois fait l'éloge d'un autre limnographe portable bien plus robuste et fiable, en l'occurrence celui du Genevois E. Sarasin dont on parle dans cet article, qui *fonctionne parfaitement des semaines et des mois comme ceux de Sécheron et de Morges et qui peut à volonté être transporté d'une station à l'autre* (Forel, 1895; p. 94).

En 1879, Sarasin installe son instrument portable devant la terrasse du château de la Tour-de-Peilz appartenant à la famille de sa mère (Emilie Rigaud, la fille de l'homme d'Etat genevois Jean-Jacques Rigaud dont la famille s'était réfugiée à la Tour-de-Peilz suite à la révolution genevoise de 1792) pour effectuer des mesures du niveau des eaux dans la partie orientale du Léman pendant que son collègue Plantamour réalise les mêmes mesures depuis sa station de Sécheron. Les résultats obtenus par les deux savants confirment les observations de F.A. FOREL. Les grandes seiches longitudinales se produisent bel et bien par alternance dans les deux extrémités du lac toutes les 73 minutes environ. L'axe de balancier se situe à Saint-Prex, près de Morges où l'amplitude de ces seiches est la plus faible, comme l'avait relevé F.A. FOREL. Les mesures révèlent aussi l'existence d'un autre type de seiches évoquées par F.A. FOREL, celles dites binodales, d'une durée d'oscillations de 35 minutes environ qui se produisent simultanément aux deux extrémités du lac (Sarasin 1879; p. 726-727).

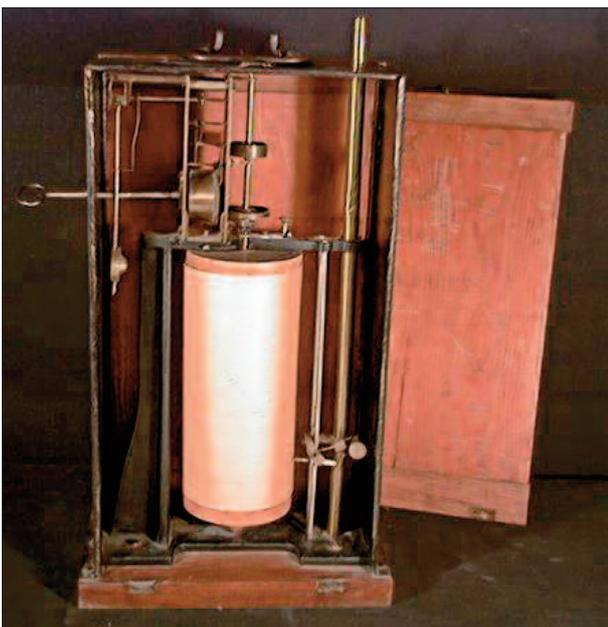


Fig. 7. Le limnographe enregistreur portable de F.A. FOREL (Collection du Musée du Léman, Nyon. © Musée du Léman).

A l'aide de son appareil, Sarasin va poursuivre ses travaux sur les seiches sur différents lacs suisses. Sur le lac de Neuchâtel, aucun mouvement oscillant des eaux n'est enregistré. Les fonds du lac trop accidentés ne permettent pas aux «marées lacustres» de s'établir. Par contre, Sarasin parvient à mettre en évidence des oscillations régulières dans deux sens sur le lac des Quatre-Cantons. Des limnographe identiques à celui de Sarasin ont aussi été installés sur les lacs de Zurich et de Constance, ainsi que sur divers lacs en Allemagne (De la Rive 1917; p. 327)

■ Le limnographe portable de Sarasin

Dans le *Catalogue d'instruments de physique et mécanique* de la Société genevoise d'instruments de physique de 1903, le limnographe transportable d'E. Sarasin est décrit comme étant un: *limnimètre*

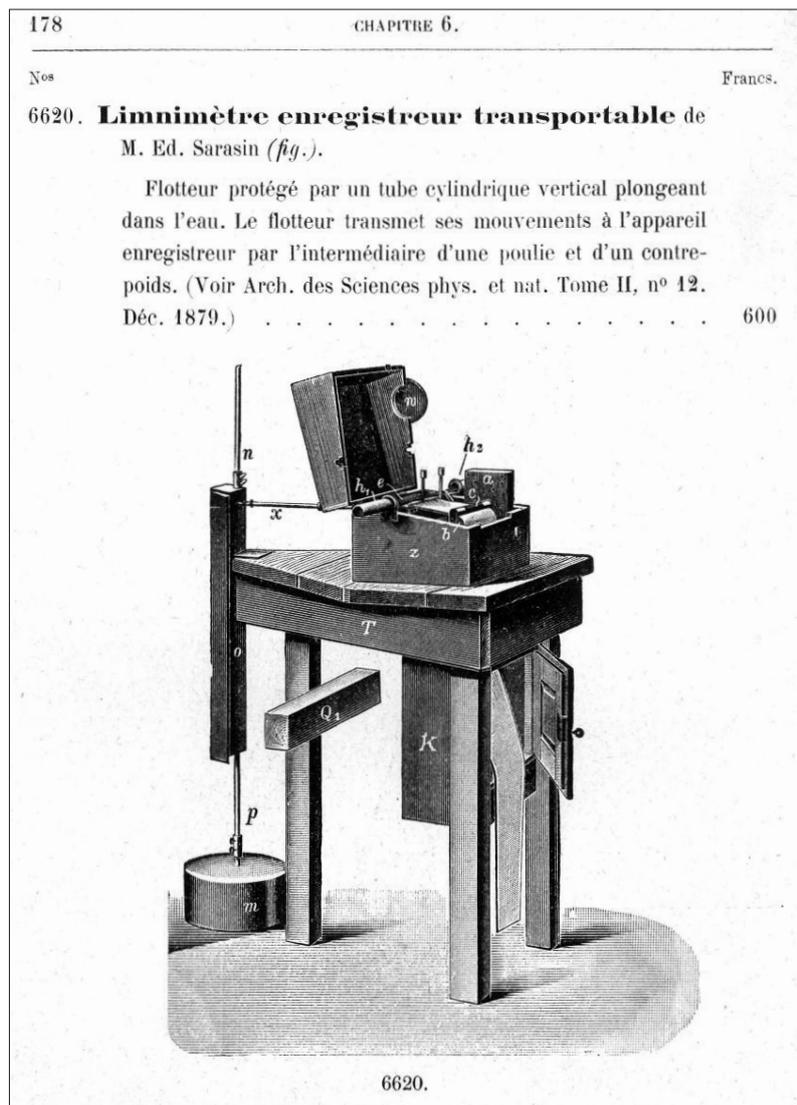


Fig. 9. Le limnigraph enregistreur de Sarasin (SIP 1903).

178

CHAPITRE 6.

Nos

Francs.

6620. **Limnimètre enregistreur transportable** de M. Ed. Sarasin (fig.).

Flotteur protégé par un tube cylindrique vertical plongeant dans l'eau. Le flotteur transmet ses mouvements à l'appareil enregistreur par l'intermédiaire d'une poulie et d'un contre-poids. (Voir Arch. des Sciences phys. et nat. Tome II, n° 12. Déc. 1879.)

600

poulies verticales situées de part et d'autre du papier et protégé par deux manchons extérieurs (Fig. 9, h1 et h2). L'une des deux poulies est dentée sur son pourtour de manière à entraîner le chariot mobile (également denté sur sa face inférieure) lorsqu'elle tourne. Un second crayon trace une ligne horizontale, correspondant à un niveau fixe, entrecoupée de petits traits verticaux marquant les heures.

L'appareil enregistreur est relié au dispositif du flotteur par le biais d'une tige en laiton (Fig 9, x), jouant le rôle de cardan, qui se fixe à une extrémité sur l'axe de la poulie dentée supportant le chariot mobile et sur l'autre à l'axe de la poulie surmontant le tube du flotteur. Les mouvements verticaux du flotteur sont ainsi transcrits en déplacements horizontaux sur la feuille de papier (Fig. 9, b).

Les deux appareils qui sont parvenus au Musée d'histoire des sciences ne constituent que les dispositifs d'enregistrement de deux limni-

enregistreur transportable. La description technique est sommaire: *un flotteur protégé par un tube cylindrique vertical plongeant dans l'eau. Le flotteur transmet ses mouvements à l'appareil enregistreur par l'intermédiaire d'une poulie et d'un contre-poids* (SIP 1903; p.178) (Fig. 9).

mètres. Les tubes et les flotteurs ont malheureusement disparus. Chaque caisse contient une horloge, un train d'engrenages reliant l'horloge aux rouleaux de papier, des porte-crayons ainsi qu'une tige de transmission en laiton. Le chariot mobile qui porte le crayon d'inscription n'existe plus.

Selon la description de Sarasin (Sarasin 1879; p. 725), ces tubes en zinc mesurent environ 150 cm de haut et 35 cm de diamètre. Ils sont plongés verticalement dans le lac depuis un mur, accrochés à des pieux. Au sommet du tube se trouve une boîte en tôle contenant une poulie à gorge sur laquelle s'enroule un ruban en cuivre fixé à l'une de ses extrémités à la tige du flotteur (Fig. 9, m) et à l'autre à un contre-poids.

L'équipe scientifique du Musée d'histoire des sciences s'est donc attelée à remettre en état un des deux appareils enregistreurs en respectant le plus fidèlement les descriptions faites par Sarasin. Dans un premier temps, l'appareillage a subi un nettoyage approfondi à l'eau, et à l'alcool. L'horloge a été démontée et regraissée, son ressort remis en place. Grâce au concours d'un mécanicien de précision qui travaillait autrefois pour le département de physique de l'Université de Genève, et qui est aujourd'hui à la retraite, plusieurs pièces ont été refaites dont un nouveau chariot mobile, sorte de tige en laiton de 700 mm de long doté d'un porte crayon et muni d'une crémaillère sur sa face inférieure ainsi que les roulettes en laiton qui lui servent de guide.

Quant à l'appareil enregistreur, il consiste en une grosse caisse en bois (Fig 9, z) renfermant une horloge (Fig. 9, a) qui entraîne par le biais d'engrenages le déroulement d'un rouleau de papier. Un chariot mobile porte-crayon (Fig 9, e) peut être fixé sur deux

Une fois restauré, l'appareil a subi plusieurs essais techniques. Il a d'abord été connecté à un flotteur plongeant dans un bac en plastique dans lequel on fait varier le niveau d'eau afin de vérifier que les mouvements verticaux du flotteur se traduisent bel et bien en déplacements horizontaux de même amplitude sur la feuille de papier. (Fig. 10). L'instrument a ensuite été testé «in vivo» au bord du lac en étant relié à un flotteur disposé au fond d'un tube en plastique immergé dans l'eau (Fig. 11). Si l'instrument fonctionne sur le plan mécanique, l'inscription du tracé graphique reste encore trop peu visible. Un problème qui devrait être réglé lors de prochains essais.

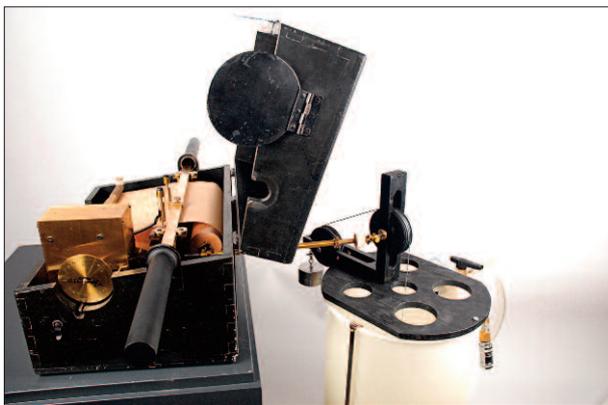


Fig. 10. Le limnigraphe enregistreur de Sarasin et son bassin artificiel «indoor», © MHS.



Fig. 11. Le limnigraphe en test dans le lac, © MHS.

Les seiches du Léman

Les seiches du Léman sont des sortes de petites marées de faible amplitude (en moyenne 20 -30 centimètres) et de courte durée qui se produisent sur le Léman. Elles ont attiré l'attention de plusieurs savants de la région dès le 18^e siècle. En 1730, l'ingénieur Nicolas Fatio de Duillier (1664-1753) suggère que ces changements rapides du niveau des eaux du Léman résultent de l'accumulation des eaux du Rhône sur le grand banc de Travers (entre Sécheron

et Cologny) par l'action des coups de vent du sud. Quand le vent cesse, l'eau se déverse à nouveau et coule avec plus de liberté provoquant alors flux et reflux à Genève (Forel 1895; p. 41)

Quelques années plus tard, Jean Jallabert (1712-1768), pasteur et scientifique genevois, évoque à son tour les seiches. Il montre que le flux et reflux se produit plusieurs fois par jour et qu'il a lieu au Bouveret comme à Genève. Les seiches résulteraient selon Jallabert de la fonte des neiges en montagne qui gonfle les eaux du Rhône et de l'Arve (Forel 1895; p. 41-42). Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799) est le premier à avancer une cause météorologique à chercher dans «les variations promptes et locales de la pesanteur de l'air qui peuvent contribuer à ce phénomène et produire des flux et reflux momentanés, en occasionnant des pressions inégales sur les différentes parties du lac» (De Saussure 1803; p.21)

Une hypothèse qui sera confirmée un siècle plus tard par F.A. FOREL et dont les travaux sur ces phénomènes naturels font encore référence aujourd'hui. Le savant vaudois débute ses observations sur les seiches en 1869 dans le port de Morges, son lieu de résidence. Il observe en particulier les courants qui entrent et sortent de ce vaste bassin naturel. A chaque inversion de direction de courant correspond une hausse ou une baisse du niveau d'eau. Il se rend compte que les inversions de courant se succèdent dans le temps à intervalles réguliers. En répétant les mesures dans différents endroits du lac, il constate que les seiches sont «des vagues de balancement analogues à celles qui pourraient se développer dans une cuvette ou une baignoire, dans un bassin quelconque dont l'eau est mise par un choc en état de balancement pendulaire» (Forel 1895; p. 56).

Comme les mesures révèlent que la durée des seiches est plus courte à Morges qu'à Genève, F.A. FOREL postule qu'il pourrait exister plusieurs types de seiches sur le lac. Des seiches à longues périodes qui oscillent dans l'axe Genève-Villeneuve et des seiches plus courtes oscillant de manière transversale entre Morges et Thonon.

En plus des seiches longitudinales et transversales, F.A. FOREL distingue encore des seiches uninodales (1 nœud, deux ventres) où l'eau s'élève à une extrémité du lac pendant qu'elle diminue à l'autre, des seiches binodales (deux nœuds, trois ventres) lorsque l'eau s'élève ou s'abaisse simultanément aux deux extrémités. Ces deux types de seiches peuvent former un troisième type dite mixtes ou dichrotes.

Les observations de F.A. FOREL seront vérifiées à nouveau en 1879 lors des mesures effectuées simultanément par Plantamour à Genève et Sarasin à la

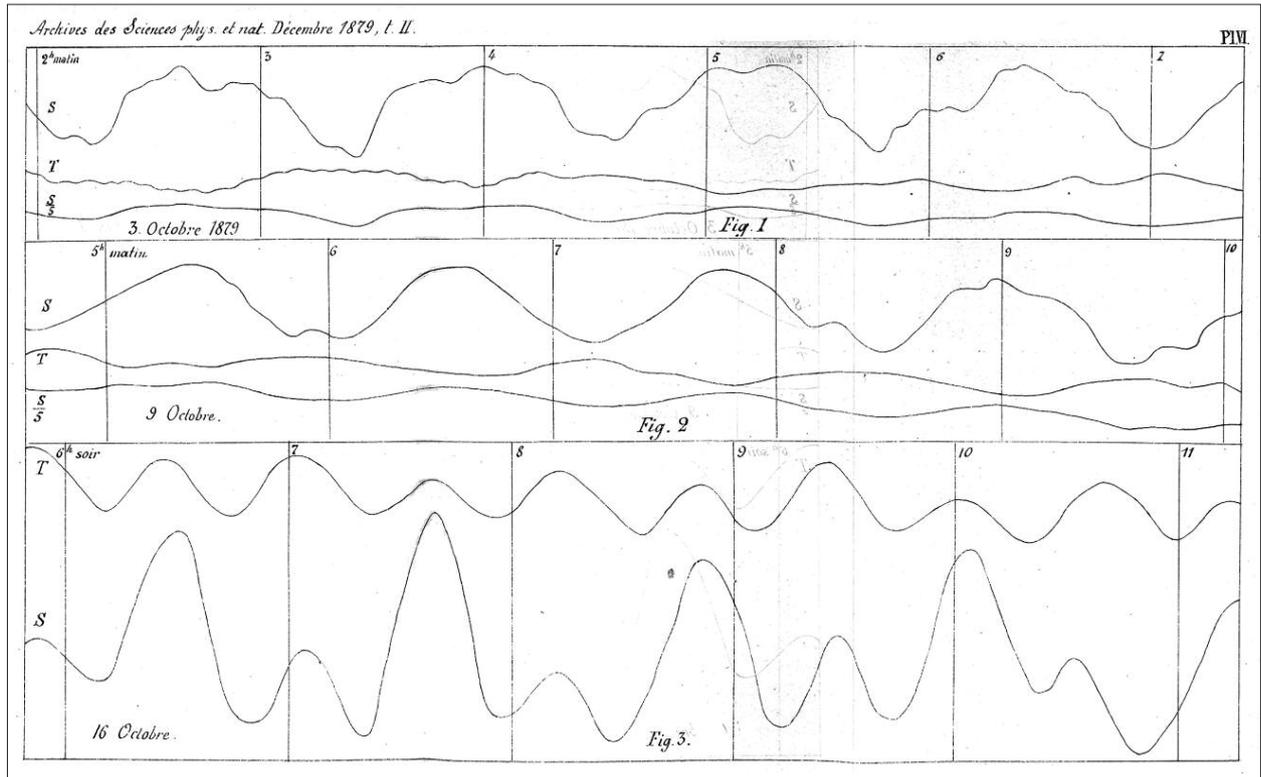


Fig. 12. Mesures des oscillations du niveau du lac effectuées simultanément par Sarasin à la Tour-de-Peilz et Plantamour à Sécheron. (Sarasin, 1879; Pl. VI).

Tour-de-Peilz. La comparaison des tracés graphiques enregistrés par les deux appareils aux deux extrémités du lac en octobre 1879 (Fig. 12) révèle en effet une alternance des oscillations de 73 minutes entre la Tour de Peilz et Sécheron, comme le montrent les figures 1 et 2. T désigne le tracé de la Tour de Peilz, S, celui de Sécheron et S/5 la réduction au cinquième de la courbe de Sécheron pour faciliter la comparaison. La Fig. 3 met en évidence la quasi parfaite coïncidence des oscillations de 35 minutes (les binodales) entre la Tour-de-Peilz et Sécheron.

Quant aux causes des seiches, F.A. FOREL les attribue essentiellement à diverses perturbations météorologiques: orages, coups de vents qui chassent l'eau vers une extrémité du lac, dépressions atmosphériques, etc. (Forel 1895; p.168-213). Enfin, par le biais d'expériences menées dans le port de Morges et dans un bassin d'expériences, F.A. FOREL réussit à établir une formule mathématique très simple (Forel 1895; p. 79) décrivant les seiches:

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

où t est la durée d'oscillation; l la longueur du bassin, h sa profondeur et g la constante de gravitation. Cette loi étant applicable à tous les plans d'eau fermés. Il en ressort que la durée des seiches varie d'un lac à l'autre en fonction de sa longueur et de sa profondeur.

Bibliographie

- **DE LA RIVE L.** 1917. Notice sur la vie et les travaux d'Edouard Sarasin. Archives des sciences physiques et naturelles, Genève, 44: 321-344.
- **DE SAUSSURE H-B.** 1803. Voyages dans les Alpes. Samuel Fauche, Neuchâtel, 1, p. 18-21.
- **FOREL FA.** 1895. Le Léman. Tome 2. F Bouge, Lausanne.
- **FOREL FA.** 1876. Le limnimètre enregistreur de Morges. Archives des sciences physiques et naturelles, Genève, 56: 305-323.
- **PLANTAMOUR PH.** 1878. Le limnographe de Sécheron. Archives des sciences physiques et naturelles, Genève, 64: 318-331.
- **SARASIN E.** 1879. Limnimètre enregistreur transportable. Archives des sciences physiques et naturelles, Genève, 2: 724-733.
- **SIP** 1903. Catalogue des instruments de physique et mécanique. Genève, p. 178.
- **SPEZIALI P.** 1997. Physica Genevensis, Georg, Genève, p. 225-226.