

Description des limnimètres du Lac Léman

Objektyp: **Chapter**

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

Band (Jahr): **14 (1875-1877)**

Heft 77

PDF erstellt am: **14.08.2024**

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

par mes prédécesseurs, et pour d'autres les documents que j'ai à ma disposition sont encore trop incomplets. Mon ambition est plus modeste et c'est à titre de matériaux pour l'édifice, qui se bâtira quelque jour, de l'histoire naturelle du Léman, que je vais essayer de développer quelques-uns des faits de la limnimétrie de notre lac.

Morges, janvier 1877.

§ I. — Description des limnimètres du lac Léman ¹.

Les appareils destinés à mesurer le niveau du lac, soit la hauteur de la nappe d'eau à un moment donné, les *limnimètres* actuellement existant sur le Léman appartiennent à trois types différents ;

1° *Limnimètres à règle, ou à échelle graduée.* A Chillon, Ouchy, Morges, Rolle, Nyon et Coppet, le bureau vaudois des ponts et chaussées a fait poser en 1874 des règles graduées, scellées verticalement au mur d'un quai, et plongeant dans l'eau, même par le plus bas état du lac. Ces règles, dont le modèle est uniforme, sont en fonte de fer, divisées en décimètres et demi-décimètres par des lignes saillantes de 5 millimètres de largeur; elles sont placées en général dans un endroit suffisamment abordable pour que la lecture puisse se faire du quai voisin.

Ces échelles ont été fixées dans le mur à une hauteur quelconque; mais pour permettre une comparaison utile

¹ Dans cette description je ne m'occupe que de l'état actuel des choses tel qu'il existe au 1^{er} janvier 1877.

entre les cotes des divers limnimètres, M. l'ingénieur cantonal Gonin a fait rapporter la hauteur du sommet de ces barres aux repères du nivellement fédéral les plus rapprochés. Cette opération exécutée en décembre 1874 par M. Deladoey, ingénieur, permet de rapporter les lectures faites à ces appareils aux cotes du limnimètre normal du colonel Burnier ¹, à l'aide d'une correction qui est de :

Limnimètre de Chillon . . .	m.	— 1.003
» Ouchy . . .	—	1.632
» Morges . . .	—	1.062
» Rolle . . .	—	0.897
» Nyon . . .	—	0.704
» Coppet . . .	—	1.212

Le chef du poste de gendarmerie de ces différentes stations, ou l'un de ses gendarmes, est chargé de faire quotidiennement une ou plusieurs lectures à ces limnimètres. Les cotes sont rapportées dans des carnets préparés *ad hoc*, et ces carnets sont conservés au bureau des ponts et chaussées. Malheureusement ces lectures ne sont pas faites partout à la même heure ; elles ont lieu à midi à Chillon, Ouchy, Rolle et Coppet, à 8 heures du matin à Morges et à Nyon.

Le limnimètre de Thonon en Savoie, établi dans le port, consiste en une échelle gravée dans des blocs de

¹ Le limnimètre normal du lac Léman, proposé par M. Fr. Burnier en 1853, et depuis lors généralement admis pour l'étude du lac, a son zéro à 3 mètres au-dessous du plan passant par le repère en bronze, scellé sur la Pierre du Niton de Genève, par le général Dufour, en 1820. Toutes les cotes et mesures du niveau du lac indiquées dans ce mémoire sont rapportées à ce limnimètre normal. Je les désignerai par la lettre *h*. Quand je voudrai désigner la hauteur du lac mesurée dans telle station j'écrirai *h* Morges, *h* Genève, *h* Vevey.

marbre formant le mur du quai; l'échelle est divisée en centimètres; la lecture n'en est pas très aisée, les chiffres étant insuffisamment indiqués, et des erreurs d'observation doivent être faciles. J'ai déterminé l'équation de ce limnimètre grâce à la communication obligeante, que m'a faite M. L. Etienne, ingénieur des ponts et chaussées de l'arrondissement de Thonon, des observations limnimétriques de l'année 1875. La correction à apporter aux lectures de cette échelle pour les ramener au limnimètre normal est de $+ 0^m.545$ ¹.

Dans sa propriété de Sécheron, à l'extrémité nord des Pâquis, sur la rive droite du lac, en dehors du port de Genève à environ un kilomètre de la jetée occidentale, M. Ph. Plantamour a établi un limnimètre à échelle, à l'aide duquel il a fait des études importantes sur les seiches. C'est une règle graduée en fer dont le zéro est exactement à 3 mètres en contrebas du repère de la Pierre du Niton; l'équation de ce limnimètre est donc égale à zéro.

2° *Limnimètres à flotteur.* Le limnimètre de Vevey et celui de Genève (Jardin anglais) sont construits sur le type

¹ Cette correction établit le zéro du limnimètre de Thonon à $2^m.455$ au-dessous du repère de la Pierre du Niton, lequel est, d'après le nivellement Bourdalouë, à $374^m.052$ au-dessus de la Méditerranée

Le zéro de l'échelle est donc à la cote absolue $371^m.597$

Or les nivellements faits lors de l'établissement du limnimètre avaient déterminé ce zéro à $371^m.70$

Différence — $0^m.103$

Cette différence est trop forte pour qu'on puisse l'attribuer simplement à l'erreur causée par des observations limnimétriques insuffisantes. Il y a eu probablement là, sauf meilleur avis, un tassement du mur du quai, construit, du reste, on le sait, sur un terrain relativement peu solide, et qui a été le théâtre de plusieurs affaissements.

suisant : Un puits creusé dans le quai est mis en communication avec le lac par un tuyau de dimensions convenables; une sphère creuse en cuivre¹ flotte dans le puits et porte une tige qui s'élève et s'abaisse avec le niveau de l'eau. La graduation est gravée sur la tige du flotteur et un index placé à hauteur de tête de l'observateur permet une lecture facile et très précise.

Les observations faites à ces appareils peuvent se rapporter aux cotes du limnimètre normal à l'aide d'une correction convenable; la détermination de cette correction est un peu plus difficile, et par conséquent un peu moins certaine que dans le type précédent. L'opération ne peut pas se faire d'une manière directe; l'on est obligé d'opérer par voie indirecte. On détermine par un nivellement rapporté au repère fédéral le plus rapproché, la hauteur du lac à un moment donné, et l'on fait en même temps une lecture au limnimètre. La lecture du limnimètre peut être faite avec une très grande précision, mais le nivellement direct du lac est beaucoup plus délicat, et l'opération doit être reprise à réitérées fois pour donner une moyenne convenable. Je reviendrai sur ce point au sujet du limnimètre enregistreur de Morges.

Quoi qu'il en soit les corrections ont été déterminées pour le limnimètre de Vevey par M. Deladoey, en 1874, à + 0^m.234, et pour celui de Genève par M. Redard, en 1873, à + 0^m.155².

¹ Le limnimètre de Vevey a pour flotteur une bouteille en fer-blanc de 20 centimètres de diamètre; c'est une section évidemment insuffisante; de là le peu de sensibilité de l'appareil.

² Cette équation a été vérifiée en mars et avril 1874 à la suite d'un accident survenu au limnimètre. Voyez les observations originales dans les cahiers des Archives des sc. ph. et nat. de Genève.

En janvier 1877, l'on a changé la graduation du limnimètre de Vevey, qui était auparavant en pouces et lignes, et qui est dorénavant en centimètres. Une comparaison de 11 jours d'observations me permet d'établir approximativement à $+ 0^m.19$ la nouvelle correction de ce limnimètre.

Les observations du limnimètre de Vevey sont faites régulièrement depuis décembre 1846; une réparation opérée à l'appareil en janvier 1851 a changé l'équation et empêche l'utilisation des observations antérieures à cette date. Depuis le 1^{er} mai 1870 elles sont faites par M. le colonel Schobinger, directeur des péages fédéraux; les lectures ont lieu à 8 heures du matin.

Les lectures du limnimètre de Genève sont faites à 11 heures du matin par un employé de l'Observatoire; elles sont publiées mensuellement dans les observations météorologiques faites à l'Observatoire de Genève sous la direction de M. le professeur E. Plantamour, dans les cahiers des Archives des sciences physiques et naturelles.

J'ai une critique assez sérieuse à faire au limnimètre de Genève. Il sert comme celui de Vevey à des lectures journalières qui, collectées et dépouillées avec soin, sont destinées à l'étude de la hauteur du lac; mais les observations isolées sont assez fréquemment entachées d'erreurs graves résultant des seiches. Qu'une de ces dénivellations accidentelles vienne soulever ou déprimer le niveau du lac au moment même de l'observation, la cote enregistrée ne correspondra pas du tout au niveau moyen de la journée. C'est ainsi que parfois au milieu d'une série de jours où le niveau a été stationnaire ou en progression régulière ascendante ou descendante, l'on voit tout-à-coup une ir-

régularité choquante qui est l'indice d'une erreur. Si l'on compare pour ces mêmes journées les lectures des autres limnimètres du lac, l'on se convainc de la réalité de cette erreur.

C'est ainsi, par exemple, que tandis que les observations de Vevey montraient du 10 au 15 octobre 1873 une baisse progressive, les observations de Genève donnaient pour le 13 une anomalie qui doit être expliquée par une seiche.

1873	<i>h</i> Vevey.	<i>h</i> Genève.	<i>d</i> ¹
	m.	m.	mm.
10 octobre	1.665	1.605	— 60
11 »	1.641	1.635	— 6
12 »	1.629	1.635	+ 6
13 »	1.605	1.535	— 70
14 »	1.599	1.625	+ 26
15 »	1.596	1.615	+ 19

C'est ainsi encore que pendant les jours d'orages, du 19 au 24 août 1876, orages accompagnés de seiches énormes, les plus fortes que j'aie enregistrées pendant cette année, les observations suivantes ont été faites à Morges et à Genève à la même heure :

1876	<i>h</i> Morges.	<i>h</i> Genève.	<i>d</i> .
	m.	m.	mm.
19 août	2.548	2.472	— 76
20 »	2.571	2.435	— 136
21 »	2.567	2.508	— 59
22 »	2.579	2.490	— 89
23 »	2.577	2.428	— 149
24 »	2.562	2.477	— 85

¹ Dans cette colonne *d* j'indique la différence entre les cotes des limnimètres de Vevey et de Genève (Jardin anglais).

Les observations de Genève sont évidemment bien plus agitées et bien plus divergentes que celles de Morges.

J'ai été rendu attentif à cette cause d'erreur dans les circonstances suivantes: Le 3 mars 1876 je suivais sur le limnimètre du Jardin anglais de Genève une observation de seiches très intéressante et que je publierai dans une autre occasion; pendant que de minute en minute je faisais mes lectures, un employé de la ville est venu noter la hauteur du lac. A 4 h. 12' s. il inscrivait 1^m.170; or c'était justement une période de minimum; s'il était venu une demi-heure plus tard, il aurait noté 1^m.274, et la hauteur moyenne réelle de cette heure était environ 1^m.22. L'erreur commise était donc de 5 centimètres.

Dans ces exemples, l'écart n'est pas énorme; c'étaient des seiches d'amplitude modérée pour la station de Genève; quelle eût été l'erreur s'il s'était agi des belles seiches de plusieurs décimètres que l'on observe chaque année à Genève.

Il est vrai que, pour l'établissement des moyennes de hauteur du lac, des erreurs de cette nature se compensent et s'annulent si l'on accumule un nombre suffisant d'observations, mais ces erreurs peuvent ne pas toujours être aussi innocentes; elles ont dans un cas spécial entraîné M. Lauterburg à attribuer une valeur beaucoup trop forte aux variations de niveau du lac Léman.

Dans son important travail sur le débit des fleuves suisses¹, M. Lauterburg établit à la page 34 la valeur maximale des crues des lacs, et il donne pour le lac Lé-

¹ *R. Lauterburg. Versuch zur Aufstellung einer allgemeinen Uebersicht der aus der Grösse und Beschaffenheit der Flussgebiete abgeleiteten schweizerischen Stromabflussmengen. Bern 1876.*

man le chiffre de 240 millimètres par jour d'après l'exemple du 1 au 2 novembre 1870. Or voici pour ces jours les observations de Vevey et de Genève avec la valeur de la crue en 24 heures pour chaque station :

1870 .	<i>h</i> Vevey.		<i>h</i> Genève.	
	m.	Différence. mm.	m.	Différence. mm.
30 octobre	1.704		1.705	
31 »	1.743	+ 39	1.715	+ 10
1 ^{er} novembre	1.794	+ 51	1.735	+ 20
2 »	1.833	+ 39	1.955	+ 220
3 »	1.854	+ 21	1.855	— 100
4 »	1.869	+ 15	1.805	— 50

Il est évident que la série de Vevey est dans ce cas-ci préférable à celle de Genève et que par conséquent la crue de 240, ou plutôt de 220 millimètres, doit se corriger en une crue beaucoup moins importante de 40 millimètres environ.

J'ai fait à cette occasion le relevé des observations de Vevey de 1847 à 1875 et j'ai trouvé comme valeur journalière des plus fortes crues :

64	millimètres	du 31 juillet au 4 août 1851.
65	»	18 au 21 août 1852.
66	»	11 au 17 juin 1855.
73	»	18 au 20 mai 1875.
74	»	13 au 14 février 1877.
80	»	9 au 12 novembre 1875.
82	»	28 mai au 1 ^{er} juin 1856

et j'estime que l'on peut évaluer à 85 millimètres la valeur maximale en 24 heures des crues du lac Léman.

La critique que je viens de faire s'applique à toute espèce de limnimètre qui n'est pas enregistreur, mais elle

s'attaque surtout au limnimètre de Genève, parce que cette station est sans contredit le point du lac où les seiches et autres dénivellations accidentelles sont le plus importantes.

Y aurait-il moyen de parer à cet inconvénient en diminuant la sensibilité de l'appareil, en rétrécissant par exemple considérablement le canal de communication qui réunit au lac le puits du flotteur? Ce serait, me semble-t-il, difficile à réaliser d'une manière suffisante, étant donnée la très grande durée des seiches longitudinales du lac (73 minutes). Il serait plus sûr et plus utile d'établir à Genève un limnimètre enregistreur dont j'appelle de tous mes vœux la construction prochaine ¹.

3° *Limnimètre enregistreur de Morges*. Cet appareil a été construit d'après mes dessins par M. J. Cauderay, mécanicien à Lausanne, et établi dans mon jardin, rue du Lac, n° 49, à Morges, au mois de mars 1876. Mon but étant avant tout d'étudier les seiches, j'ai dû soigner particulièrement certains points; j'ai cherché à donner à l'appareil une très grande sensibilité tout en ne le laissant être influencé que par des mouvements de l'eau d'une durée supérieure à une demi-minute.

C'est un limnimètre à flotteur dont la tige actionne par un renvoi de mouvement convenable une tringle horizontale portant le crayon; celui-ci dessine la courbe du niveau du lac sur une bande de papier sans fin, déroulée par un mouvement d'horlogerie.

Voici les principaux détails de la construction de cet

¹ Depuis que ces lignes ont été écrites, j'ai appris que M. Philippe Plantamour s'est décidé à faire établir un limnimètre enregistreur dans sa campagne de Sécheron, aux Pâquis de Genève.

appareil qui a fonctionné jusqu'à présent à mon entière satisfaction.

Je désirais éliminer les vagues trop rapides; je voulais, tout en enregistrant les dénivellations relativement lentes des seiches, n'avoir pas mes tracés troublés par les vagues à allures toutes différentes des vents et des bateaux à vapeur. J'ai obtenu ce résultat en donnant au puits dans lequel est logé le flotteur une surface relativement grande, et en le faisant communiquer avec le lac par des tuyaux relativement longs et étroits. Le puits mesure 2 mètres carrés de surface; le tuyau de grès qui amène l'eau a 6 centimètres de diamètre et 8^m.40 de longueur. Avec ces proportions, mon but a été très convenablement atteint, et les plus fortes vagues du vent ne font osciller le crayon de l'enregistreur que d'une valeur d'un $\frac{1}{2}$ millimètre environ; les vagues des bateaux à vapeur sont sans action, à l'exception de la puissante vague qui précède de quelques dizaines de mètres l'avant du navire ¹.

L'on emploie généralement pour flotteur des limnimètres une sphère creuse en cuivre qui porte la tige de transmission en nageant sur l'eau. Cet usage a l'inconvénient que la sphère ne se prête pas aux variations de volume de l'air qu'elle contient, et est exposée, quand la température s'élève, à des fuites d'air par les fissures du métal, à des rentrées d'eau quand la température s'abaisse. On corrige cet inconvénient en donnant au flotteur la forme d'une lentille biconvexe qui peut, en suivant les variations de la pression intérieure, augmenter ou diminuer ses courbures. J'ai préféré employer un bassin circulaire en

¹ Voyez au sujet des vagues et des vibrations du lac mon étude sur le limnimètre enregistreur de Morges. Arch. des sc. ph. et nat. N. P. LVI, 305 sq. Genève, août 1876.

zinc, à bords droits, ouvert librement en haut ; il flotte sur l'eau comme un radeau, et je n'ai pas à m'occuper des variations de pression. J'ai donné au bassin une grande surface, afin qu'il possédât une force suffisante pour surmonter tous les frottements et résistances de l'appareil enregistreur ; il a 80 centimètres de diamètre, soit un demi-mètre carré de surface, ce qui représente, quand il flotte, une force ascensionnelle de un demi-kilogramme par chaque millimètre d'eau.

J'ai réussi très heureusement à annuler l'effet du ménisque capillaire, alternativement convexe ou concave, suivant que le bord du flotteur en métal aurait été mouillé ou non par l'eau, en entourant les flancs du bassin d'une ceinture en toile de coton non apprêtée. La ceinture reste toujours mouillée par capillarité jusqu'à quelques millimètres au-dessus de la surface de l'eau, et le ménisque capillaire est toujours concave.

J'ai fait la tige du flotteur de 3 mètres de long, en tuyau de fer-blanc de 3 centimètres de diamètre ; elle est très légère, et plus que suffisamment rigide.

Cette tige actionne le crayon de l'enregistreur.

J'avais pour faire cet enregistrement le choix entre deux systèmes : ou bien fixer le crayon directement à la tige et le faire dessiner sur une bande de papier qui se déroulerait autour d'un axe vertical, ou bien faire dérouler le papier sur un axe horizontal et transformer en un mouvement horizontal le mouvement vertical de la tige du flotteur.

Le premier système présentait pour moi deux inconvénients. Le premier était la difficulté de faire inscrire le crayon sur le papier ; il aurait fallu un jeu de ressorts assez délicats pour obtenir une pression convenable pour

un dessin régulier des tracés. Ou bien j'aurais dû m'adresser au procédé des points marqués par un poinçon, sur lequel, d'instant en instant, vient frapper un marteau; ce dernier mode d'enregistrement ne pouvait me convenir, car je tenais à avoir un tracé continu. Le deuxième inconvénient résidait dans le déroulement du papier. Comme on va le voir, j'ai besoin d'un débit considérable de papier, et je n'aurais pu, si le déroulement avait été vertical, obtenir une marche régulière et uniforme de la bande du papier sans fin que par le moyen de mécanismes très compliqués; j'aurais, d'une autre part, été facilement encombré par le papier après qu'il aurait passé sous le crayon, et je n'aurais pas su commodément l'emmagasiner.

Je me suis donc décidé à faire la transformation à angle droit du mouvement vertical de la tige du flotteur, de telle manière que le crayon enregistreur soit actionné par une tringle horizontale.

Soient, planche XIII, fig. 2, les deux parallélogrammes articulés $abcd$ et $cefg$ reliés ensemble par le triangle rectangle cde ; soient les points a c et g des axes fixes; soient les points a b c d e f et g des pivots permettant des mouvements de rotation dans le plan vertical. Les parallélogrammes pivotant autour des centres de mouvement a c et g peuvent prendre toutes les formes possibles; mais étant d'une part reliés ensemble par un triangle rectangle, et ayant d'une autre part leurs bords homologues à angle droit les uns des autres, leurs mouvements sont solidaires et ils seront toujours semblables l'un à l'autre. Si le triangle rectangle cde est en outre isocèle, les côtés dc et ce étant égaux, les parallélogrammes seront toujours égaux, quelles que soient les formes qu'ils puissent pren-

dre. De même que $abdc$ est semblable et égal à $cefg$, de même $ab'd'c$ est semblable et égal à $ce'f'g$; de même aussi $ab''d''c$ est semblable et égal à $ce''f''g$.

Il en résulte que la tringle horizontale u (fig. 1) qui relie les deux pivots ef suivra exactement les mouvements du côté mobile bd du parallélogramme vertical, côté mobile qui est lié à la tige du flotteur; il en résulte qu'un crayon v , placé dans une douille de la tringle horizontale u , fera des mouvements parfaitement correspondants à ceux d'un crayon qui serait fixé à la tige du flotteur, de même qu'un point n placé sur la ligne ef (fig. 2) fait en n' et n'' des mouvements semblables aux mouvements m' et m'' d'un point m situé sur la ligne bd .

Si j'avais eu besoin d'amplifier ou de réduire les mouvements du lac pour les enregistrer d'une manière plus commode, j'y serais arrivé facilement en transformant le triangle isocèle cde (fig. 1) en un triangle inéquilatéral; le côté ce étant plus court que le côté cd les mouvements auraient été réduits; ils auraient été amplifiés si le côté ce avait été plus grand.

Je voulais avoir des tracés représentant les mouvements du lac de grandeur naturelle; j'ai donc fait ce triangle isocèle, et j'ai donné à ses côtés une longueur de 30 centimètres; le côté ac du parallélogramme vertical a un mètre, le côté cg du parallélogramme horizontal 80 centimètres.

Le crayon v est fixé à la tringle u par deux trous faisant douille, et glisse à frottement doux, appuyant ainsi de tout son poids sur le papier et traçant des lignes toujours de même intensité et de même force, sans que j'aie besoin de le faire presser par un ressort.

Pour éviter les mouvements de latéralité, j'ai fait les

pièces mobiles des parallélogrammes et triangles en double. Ce sont, pour chacun, deux lames de tôle étamée, séparées l'une de l'autre par une distance de 20 centimètres et réunies l'une à l'autre par de petites tiges de fer. Les pivots des articulations sont simplement des tiges d'acier pressées entre les pointes de deux tourillons à vis.

Dans le but d'avoir l'appareil en état d'équilibre, j'ai ajouté au côté fg du parallélogramme horizontal un triangle gfh semblable au triangle dce auquel il fait équilibre. Un poids convenable r suspendu au point h fait équilibre aux pièces db et ab du parallélogramme vertical.

Mais le centre de gravité de tout cet appareil étant au-dessus du plan cg , l'équilibre était instable, et cela d'autant plus que les parallélogrammes étaient plus inclinés; le tout pressait sur le flotteur ou le soulevait suivant l'inclinaison des pièces. J'ai remédié à cet inconvénient en continuant par une tige rigide gi le côté fg du parallélogramme horizontal et en y suspendant un poids suffisant q ; le centre de gravité est ainsi descendu au niveau, ou à peu près, des axes c et g , et l'équilibre de tout l'appareil est devenu indifférent.

Pour satisfaire aux déplacements considérables que nécessitent les variations de niveau du lac, j'ai construit le côté mobile bd du parallélogramme vertical, de telle sorte qu'il puisse être glissé le long de la tige t du flotteur et prendre une position convenable étant donnée la hauteur du lac. Ce côté est formé par une barre de bois creusée d'une rainure qui reçoit dans sa concavité la tige cylindrique du flotteur; des écrous à vis pressent les deux pièces ensemble et les rendent adhérentes dans la position voulue.

La bande de papier emmagasinée sur une bobine passe

sur un cylindre qui fait coussinet pour soutenir les tracés du crayon ; puis elle arrive au cylindre moteur contre laquelle elle est pressée par un rouleau de fer recouvert d'un fourreau de gutta-percha ; elle s'accumule sur une tablette et je la plie en un cahier à feuilles adhérentes et continues ¹.

Le cylindre moteur est mis en jeu par un mouvement de pendule , réglé de telle sorte que le papier se déroule à raison d'un millimètre par minute , soit 6 centimètres par heure ; les variations de température, dilatant et contractant le cylindre moteur d'une part et le pendule du mouvement d'horlogerie d'autre part , donnent des variations dans le débit du papier qui atteignent ± 4 millimètres en 24 heures ; je tiens compte de ces écarts quand j'établis ensuite sur les tracés la position des heures de la journée.

Cette vitesse de déroulement de 1^m.44 par 24 heures est relativement considérable et fait un débit énorme et un peu encombrant de papier ; mais j'avais besoin de cette vitesse pour étudier avec une exactitude suffisante les détails des mouvements des seiches et des vibrations ² du lac. Pour de simples études limnimétriques on pourrait se contenter d'une vitesse beaucoup plus lente.

¹ Sur le modèle bien connu des livres japonais.

² J'ai décrit sous le nom de *vibrations* du lac des mouvements oscillatoires , parfois très réguliers , dont l'amplitude varie de 0 à 5 millimètres et dont la durée varie de 0.5 à 4 minutes. Quelques-unes de ces vibrations sont causées par les bateaux à vapeur qui circulent sur le lac ; d'autres sont dues au vent. Cf. *Le limnimètre enregistreur de Morges*. Arch. des sc. ph. et nat. N P. LVI 315. Genève, août 1876. — *Note sur un limnimètre enregistreur établi à Morges pour étudier les seiches*. Ann. de chimie et de physique. 5^e série, t. XI. Paris. 1876.

Mon limnimètre étant ainsi établi et mis en jeu, j'ai sur le papier des tracés ondulés qui m'indiquent la hauteur du lac d'un moment à l'autre et me permettent d'étudier les seiches et autres dénivellations. Pour obtenir une comparaison précise de la hauteur du lac je fais tracer par un crayon immobile, au fur et à mesure du déroulement du papier, une ligne droite à laquelle je rapporte les courbes irrégulières du crayon mobile de l'enregistreur. En mesurant la distance positive ou négative du tracé à cette ligne de base, j'ai ainsi, pour deux ou plusieurs heures données, la hauteur relative du lac.

Comment transformer cette hauteur relative en une hauteur absolue; comment la rapporter au limnimètre normal? J'y suis arrivé par le même procédé qui permet d'établir le zéro des limnimètres à flotteur ordinaires, en déterminant directement la hauteur du lac et en lisant en même temps la hauteur indiquée par le limnimètre. Quelques détails sur cette opération montreront les difficultés contre lesquelles on a à lutter pour arriver à une précision suffisante.

J'ai profité des hautes eaux de juillet 1876, qui, faisant refluer l'eau dans les aqueducs d'égouts de la ville de Morges, me fournissaient un niveau du lac parfaitement tranquille à côté d'un des repères fédéraux (n° 51, douane de Morges : cote + 0^m.189 R. P. N.).

Par un nivellement exact j'ai déterminé la hauteur de la grille de l'égout qui s'ouvre au pied de ce repère; j'ai pu alors facilement mesurer d'un jour à l'autre la hauteur de l'eau en la rapportant à la grille de l'égout, et en en déduisant la hauteur absolue du lac. Une lecture faite à mon enregistreur, dont j'avais établi auparavant le zéro à une hauteur quelconque, me permettait une comparaison

d'où j'ai obtenu l'équation de ce zéro. Voici quelques-unes des observations faites pour arriver à cette comparaison; elles montreront quels écarts considérables l'on peut faire, même dans les meilleures conditions possibles; car il va sans dire que pour faire cette comparaison j'ai choisi des jours de calme plat au point de vue des vagues, des vibrations et des seiches.

1876.	Heure.	Enregist.	Haut. absolue.	Equation.
		m.	m.	m.
18 juillet	9.35 m.	1.997	2.619	+ 0.622
19 »	11.00 m.	2.002	2.626	+ 0.624
19 »	0.30 s.	2.004	2.626	+ 0.622
20 »	11.05 m.	1.994	2.612	+ 0.618
21 »	2.40 s.	1.987	2.608	+ 0.621
22 »	8.50 m.	1.975	2.599	+ 0.624

et ainsi de suite. En continuant cette comparaison pendant un nombre suffisant de jours, je suis arrivé malgré des écarts de 6 millimètres entre les extrêmes à une moyenne de 0^m.623 que j'estime exacte à 1^{mm} près. J'ai donc abandonné le zéro provisoire de mon appareil pour un zéro absolu que je crois exact à $\pm 1^{\text{mm}}$ près.

Quand, ensuite des variations de niveau du lac, je déplace la barre mobile qui fixe le parallélogramme vertical à la tige du flotteur, je mesure exactement le déplacement que je fais, et je calcule la nouvelle valeur à donner à ma ligne de base. De cette manière j'ai en tous temps un moyen de déterminer la hauteur absolue du tracé irrégulier dessiné par l'enregistreur.

Il est vrai que souvent des seiches ou des vibrations accidentent tellement le tracé que l'on peut être embarrassé pour prendre la ligne moyenne au milieu des diverses ondulations et festons secondaires; mais cependant avec un

peu d'attention on arrive à faire sur le papier la mesure de la moyenne avec une exactitude d'au moins 1^{mm} près.

Il y a bien encore quelques causes d'erreur dont je ne puis tenir compte. La plus grave est certainement la variation des dimensions des différents organes de l'enregistreur sous l'influence de la chaleur et du froid; c'est ainsi que la tige du flotteur, d'une longueur de 3 mètres, augmente de près d'un millimètre en passant de la température de 0° à + 30°.

En combinant toutes ces causes d'erreur dont, je l'espère, une partie du moins se neutralisent et se compensent, j'estime arriver en définitive à connaître à l'aide de mon enregistreur la hauteur exacte du lac à ± 2 millimètres près.

En résumé, d'après les données que je viens d'exposer, on peut établir comme suit la correction normale des différents limnimètres du lac :

		m.
Chillon	échelle de fonte	— 1.003
Vevey (av. le 15 janv. 1877)	flotteur	+ 0.234
» (dep. le 11 fév. 1877)	»	+ 0.19
Ouchy	échelle de fonte	— 1.632
Morges	»	— 1.062
»	enregistreur	0.000
Rolle	échelle de fonte	— 0.897
Nyon	»	— 0.704
Coppet	»	— 1.212
Sécheron	échelle de fer	0.000
Genève (Jardin anglais) .	flotteur	+ 0.155
» (mach. hydrauliq.)	échelle	?
Thonon	échelle de marbre	+ 0.545
Evian	flotteur	hors de service