Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 14 (1875-1877)
Heft: 77

Artikel: Contributions à l'étude de la limnimétrie du Lac Léman. Part 1
Autor: Forel, F.-A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-258485

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: 12.07.2025

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

CONTRIBUTIONS

A L'ÉTUDE DE LA

LIMNIMÉTRIE DU LAC LÉMAN

par le Dr F.-A. FOREL

professeur à l'Académie de Lausanne.

Ire SÉRIE

En étudiant les tracés de mon limnimètre enregistreur de Morges, et en les comparant aux cotes du limnimètre du Jardin anglais de Genève, j'ai bientôt reconnu qu'il y a une différence sensible entre la hauteur de l'eau dans ces deux stations, et que cette différence est variable d'un jour à l'autre et d'une saison à l'autre. La constatation de ce fait m'a conduit à entreprendre une comparaison des observations limnimétriques du lac Léman en utilisant les matériaux qui ont fort obligeamment été mis à ma disposition par le bureau des ponts et chaussées du canton de Vaud, et je suis ainsi arrivé à quelques résultats intéressants que je vais essayer de résumer ici.

En commençant cette série de paragraphes, mon intention n'est point d'aborder dans leur ensemble tous les problèmes généraux qui touchent à l'étude du niveau du lac; quelques-unes de ces questions ont déjà été épuisées

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 1er 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 :

		m.
Limnimètre de	Chillon . . .	— 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.

suivant : Un puits creusé dans le quai est mis en communication avec le lac par un tuyau de dimensions convenables; une sphère creuse en cuivre[1] 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 $+ 0^m.155$[2].

[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 1er 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	*h* Vevey.	*h* Genève.	*d* [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	*h* Morges.	*h* Genève.	*d.*
	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 suisses [1], 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 Grœsse 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	*h* Vevey.	Différence.	*h* Genève.	Différence.
	m.	mm.	m.	mm.
30 octobre	1.704		1.705	
31 »	1.743	+ 39	1.715	+ 10
1er 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 1er 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 $^1/_2$ 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 isoscèle, 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 isoscèle *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 isoscèle, 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. 5e 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 $\pm 1^{mm}$ 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

§ II. — Pente du lac.

Avant d'aborder l'étude des changements de niveau du lac je dois élucider un point qui se rattache intimément à la limnimétrie du lac Léman, et aborder la question de la pente du lac.

A la fin de sa notice sur la hauteur des eaux du Léman [1], M. E. Plantamour indique l'existence de cette pente du lac [2]; il fait remarquer que les observations du limnimètre de Genève, faites dans le port, en un point où le courant est déjà très sensible, donnent le niveau de ce bassin et non celui du lac; qu'il y a donc une correction à apporter à ces chiffres pour avoir le véritable niveau du lac. Il utilise 9 observations faites à Genthod par M. E. Pictet-Mallet dans l'été de 1873 et trouve comme moyenne de la différence entre ces deux stations 56 millimètres par une hauteur du lac qui a varié à Genthod de $1^{m}.43$ à $1^{m}.73$.

J'ai repris cette question en utilisant les observations des limnimètres de Vevey et de Genève de mars 1870 à décembre 1875. J'ai choisi pour faire ce travail le limnimètre de Vevey de préférence aux autres limnimètres à

[1] *E. Plantamour.* Notice sur la hauteur des eaux du lac, d'après les observations faites à Genève de 1838 à 1873. Genève 1874.

[2] Dans ses observations sur le niveau du lac Léman (Bull. Soc. vaud. sc. nat. VIII, 331. Lausanne 1865), M. le Dr Dor avait déjà signalé cette pente du lac; par la comparaison des cotes des limnimètres de Genève et de Vevey, il l'avait estimée à 26^{mm} le 1er mars et à 46^{mm} le 10 mars 1865.

échelle du lac parce que, étant un appareil à flotteur, les observations faites par son moyen échappent à toutes les incorrections et irrégularités dues aux vagues du vent et des bateaux à vapeur. J'ai borné ma comparaison aux observations postérieures à mars 1870 parce que depuis ce moment les lectures ont été faites par le même observateur, M. Schobinger, et que j'ai pu m'assurer par une collation entre les observations faites pendant l'été de 1876 à Vevey et les cotes de mon enregistreur, de l'exactitude suffisante des lectures de cet observateur. Une critique serrée des observations de l'année 1875, dans laquelle j'ai comparé jour par jour la hauteur des limnimètres de Chillon, Vevey, Ouchy, Morges, Rolle, Nyon, Coppet et Genève, ne m'a fait découvrir qu'une seule lecture erronée dans les carnets de Vevey : le 14 décembre 1875, la hauteur notée est de 422 lignes; il devait y avoir 432 lignes. J'ai donc tout lieu de croire ces observations de Vevey suffisantes.

Quant au limnimètre de Genève, les observations faites sous le contrôle de M. Plantamour présentent toutes les garanties désirables étant donné l'appareil dont j'ai déjà critiqué la valeur.

Il y avait cependant un inconvénient à prendre comme base de ma comparaison ces deux séries d'observations : c'est que dans l'une d'elles, celle de Vevey, la lecture est faite à 8 heures du matin, et dans l'autre, celle de Genève, à 11 heures. Or, dans les moments de fortes variations de niveau, en trois heures de temps il peut y avoir crue de plus de 10 millimètres si l'on adopte comme valeur maximale de la crue en 24 heures le chiffre donné plus haut de 85 millimètres. Cet inconvénient ne m'a point arrêté. D'une part, les crues de 85 millimètres en 24 heures sont

des exceptions très rares; d'une autre part, l'erreur étant dans un sens dans les moments de crue au printemps, elle sera compensée et annulée par l'erreur en sens inverse dans les périodes de baisse du lac en automne.

J'ai donc pris les observations journalières de ces deux stations et je les ai rapportées au limnimètre normal en y faisant les réductions et corrections nécessaires; puis les mettant en regard les unes des autres, j'ai calculé pour chaque jour la différence entre les deux cotes. J'ai constaté :

1° Que très généralement il y a une différence entre la hauteur de l'eau dans les deux ports. Appelons d cette différence ;

2° Que de beaucoup le plus fréquemment la valeur d indique une hauteur d'eau plus grande à Vevey qu'à Genève. Nous exprimerons ce fait en faisant dans ce cas d positif; les valeurs de d négatives indiqueront par contre que la cote du limnimètre de Genève est supérieure à celle du limnimètre de Vevey ;

3° Que cette différence d est très variable dans son importance ;

4° Il y a dans la valeur d des différences d'un jour à l'autre, différences souvent assez fortes, qui peuvent être rapportées soit à des seiches, soit à des dénivellations temporaires continues ainsi que nous le verrons plus loin; quelques-unes aussi de ces variations doivent être attribuées à l'imperfection des procédés d'observation et disparaîtront quand on aura des appareils mieux conditionnés. Quoi qu'il en soit, ces variations se compensent assez pour que, avec un nombre suffisant d'ob-

servations, l'on puisse arriver à des moyennes assez fixes de *d*;

5° Il y a dans ces moyennes de *d* des différences d'une saison à l'autre; plus le lac est haut, plus la valeur *d* est considérable ; quand le lac est bas, elle est presque nulle. Il y a donc lieu de rechercher la valeur moyenne de *d* pour les différentes hauteurs du lac.

Pour cela j'ai ordonné les 1917 observations dont je dispose d'après la hauteur du lac mesurée à Vevey en séries de 10 en 10 millimètres de hauteur d'eau, et entre les cotes extrêmes $0^m.79$ et $2^m.65$ du limnimètre normal j'ai eu 186 séries, chaque série comprenant en moyenne 10 observations; j'ai tiré dans chaque série la moyenne de *d* et j'ai obtenu une suite de chiffres encore assez divergents. J'en donnerai deux exemples pris dans les séries extrêmes :

Hauteur du lac.	Moyenne de *d*.	Hauteur du lac.	Moyenne de *d*.
m.		m.	
0.90	20.1	2.50	88.8
0.91	2.0	2.51	64.4
0.92	10.0	2.52	57.5
0.93	23.3	2.53	86.0
0.94	10.0	2.54	63.3
0.95	9.6	2.55	80.9

et ainsi de suite.

Ces séries moyennes montrent bien plus que les observations isolées la tendance à ce que la valeur de *d* augmente à mesure que le niveau du lac s'élève :

Pour mettre plus en évidence cette tendance, j'ai pris la moyenne de dix en dix des moyennes des séries précédentes, et j'ai obtenu les chiffres suivants :

Haut. du lac.	Moyenne de *d*.	*D*.	Haut. du lac.	Moyenne de *d*.	*D*.
m.	mm.	mm.	m.	mm.	mm.
0.85	9.7	10	1.85	47.8	50
0.95	14.6	12	1.95	56.7	55
1.05	12.7	15	2.05	59.9	60
1.15	16.0	18	2.15	64.8	65
1.25	14.5	22	2.25	72.6	70
1.35	21.9	26	2.35	78.3	75
1.45	42.7	30	2.45	82.9	80
1.55	38.0	35	2.55	79.0	85
1.65	36.4	40	2.65	86.0	90
1.75	50.2	45			

J'ai régularisé la courbe brisée des moyennes de *d* en donnant les chiffres de la troisième colonne, valeurs moyennes que j'appelle *D*.

Cette valeur *D* est la correction que je me propose d'appliquer aux chiffres du limnimètre de Vevey pour obtenir la hauteur de l'eau dans le port de Genève.

Mais comme cette réduction présentée ainsi n'offre que peu d'intérêt, comme au contraire il peut être fort utile de pouvoir transformer les observations du limnimètre de Genève et en tirer le niveau du lac lui-même, disons du Grand lac, soit pour une observation isolée, soit pour les moyennes, j'ai dressé le tableau I indiquant la correction de la pente du lac dans les deux sens.

(Voir le tableau I à la page ci-contre.)

Tableau I.

PENTE NORMALE DU LAC

rapportée aux différentes hauteurs des limnimètres du Léman (limnimètre de Vevey) et à celles du limnimètre du Jardin anglais de Genève.

La valeur *D* en millimètres doit être retranchée des cotes de Vevey et ajoutée à celles de Genève pour transformer les unes dans les autres.

D.	*h.*Vevey.	*h.*Genève.	*D.*	*h.*Vevey.	*h.*Genève.	*D.*	*h.*Vevey.	*h.*Genève.
mm.	m.	m.	mm.	m.	m.	mm.	m.	m.
10	0.800	0.790	37	1.600	1.563	64	2.140	2.076
11	0.900	0.889	38	1.620	1.582	65	2.160	2.095
12	0.960	0.948	39	1.640	1.601	66	2.180	2.114
13	1.000	0.987	40	1.660	1.620	67	2.200	2.133
14	1.030	1.016	41	1.680	1.639	68	2.220	2.152
15	1.060	1.045	42	1.700	1.658	69	2.240	2.171
16	1 090	1.074	43	1.720	1.677	70	2.260	2.190
17	1.120	1.103	44	1.740	1.696	71	2.280	2.209
18	1.150	1.132	45	1.760	1.715	72	2.300	2.228
19	1.175	1.156	46	1.780	1.734	73	2.320	2.247
20	1.200	1.180	47	1.800	1.753	74	2.340	2.266
21	1.225	1.204	48	1.820	1.772	75	2.360	2.285
22	1.250	1.228	49	1.840	1.791	76	2.380	2.304
23	1.275	1.252	50	1.860	1.810	77	2.400	2.323
24	1.300	1.276	51	1.880	1.826	78	2.420	2.342
25	1.325	1.300	52	1.900	1.848	79	2.440	2.361
26	1.350	1.324	53	1.920	1.867	80	2.460	2.380
27	1.375	1.348	54	1.940	1.883	81	2.480	2.399
28	1.400	1.372	55	1.960	1.905	82	2.500	2.418
29	1.425	1.396	56	1.980	1.924	83	2.520	2.437
30	1.450	1.420	57	2.000	1.943	84	2.540	2.456
31	1.475	1.444	58	2.020	1.962	85	2.560	2.475
32	1.500	1.468	59	2.040	1.981	86	2.580	2.494
33	1.520	1.487	60	2.060	2.000	87	2.600	2.513
34	1.540	1.506	61	2.080	2.019	88	2.620	2.532
35	1.560	1.525	62	2.100	2.038	89	2.640	2.551
36	1.580	1.544	63	2.120	2.057	90	2.660	2.570

Dans une première colonne j'indique la correction *D* en millimètres, à apporter aux lectures des limnimètres; dans la seconde colonne j'indique la hauteur du lac à Vevey au-dessous de laquelle il faudra appliquer la correction *D*, en la retranchant, pour obtenir la cote du limnimètre de Genève; dans la troisième colonne j'indique la hauteur du lac au limnimètre du Jardin anglais de Genève au-dessous de laquelle il faudra appliquer la correction *D*, en l'ajoutant, pour obtenir la cote du limnimètre de Vevey.

Ajoutons encore: dans l'état actuel des choses, étant donnés les quais, jetées, barrages existant dans le port de Genève dans les années 1870 à 1875.

Que signifie cette pente du lac, comment devons-nous l'interpréter ?

Si connaissant les différentes sections du lac nous essayons de calculer le courant que les hautes eaux de l'été doivent déterminer, nous arrivons aux chiffres suivants en prenant pour base un débit de 600 mètres cubes par seconde, soit 36,000 mètres cubes par minute :

Section.	Largeur.	Profondeur moyenne.	Aire.	Vitesse du courant par minute.
	m.	m.	m.	m.
Vevey-St-Gingolph . .	8000	180	1 440 000	0.026
Ouchy-Evian.	12000	315	3 780 000	0.009
Détroit de Promenthoux	3600	60	216 000	0.17
Banc du Travers . . .	1900	5	9 500	3.8

Le courant est loin d'être absolument insensible; nous devons admettre que la pente très faible dans le grand lac devient plus sérieuse au détroit de Promenthoux et est assez importante sur le banc du Travers.

Cependant la valeur de cette pente est peu considérable. Grâce à une obligeante communication de M. Ph.

Plantamour, j'ai pu faire une comparaison très exacte entre la hauteur du grand lac, à Morges, et celle du petit lac, au limnimètre du Sécheron, situé comme je l'ai dit en dehors du port de Genève sur la rive droite du lac. M. Plantamour m'a confié ses registres d'observations et les tracés à l'aide desquels il a pu étudier les seiches longitudinales du lac du 20 octobre 1876 au 13 janvier 1877. Au moyen de ces notes j'ai pu, pour 30 jours différents, déduire avec une très grande précision la hauteur moyenne du lac à Sécheron en prenant, au juger, la moyenne au milieu des oscillations des seiches; cette moyenne qui résulte le plus souvent de la comparaison et de la critique de 5, 10, 15 et même 20 observations faites avec beaucoup de soins pendant la même journée, est certainement beaucoup plus précise que ne l'est le plus souvent la lecture journalière unique faite aux limnimètres pour les carnets des observations officielles. J'ai mis en regard de ces moyennes de Sécheron la hauteur du Grand lac que j'ai déduite des tracés de mon enregistreur de Morges, et j'ai obtenu ainsi deux séries de chiffres parallèles. Ces deux séries sont très régulières, le plus grand écart étant de 14 millimètres; l'écart est tantôt positif, tantôt négatif, c'est-à-dire que l'eau est tantôt plus élevée à Morges qu'à Sécheron, tantôt moins élevée. 21 fois sur 30 l'eau a été plus élevée à Morges qu'à Sécheron, et la moyenne générale donne un résultat positif $d = + 3^{mm}.3$. La hauteur du lac était moyenne ayant varié de $1^{m}.314$ à $1^{m}.509$. Je puis donc dire qu'aux hauteurs moyennes du lac la pente de Morges à Sécheron est de 3 à 4 millimètres seulement. C'est bien peu de chose à côté des chiffres importants que nous a donnés la comparaison des observations de Vevey et de Genève (limnimètre du Jardin anglais). Nous pou-

vons donc dire que la pente du lac est presque nulle de Villeneuve aux jetées du port de Genève.

Il en est autrement à l'entrée du port de Genève. Les jetées construites en 1855 s'avancent dans le lac en laissant trois ouvertures seulement, la grande ouverture de 230 mètres et les deux petites ouvertures latérales de $4^m.50$ chaque. Le barrage partiel que forment ainsi ces jetées gêne la marche de l'émissaire et une différence de niveau très sensible existe entre le lac, en dehors, et le port, en dedans des jetées; le courant très énergique par les hautes eaux de l'été est l'indice évident de cette pente. Une autre preuve de cette pente est le fait que l'on voit l'eau sourdre au pied du mur des jetées dans l'intérieur du port, l'eau étant soumise extérieurement à ce mur à une pression sensiblement plus forte que celle qui agit sur elle à l'intérieur du port [1].

C'est donc surtout au rétrécissement du cours du fleuve par les jetées du port de Genève que l'on doit attribuer la pente variable existant entre les limnimètres de Vevey et celui de Genève.

Il est une circonstance qui exagère parfois notablement la pente et qui apporte une certaine incertitude dans la valeur de la correction que j'ai proposée. C'est le fait du barrage de la machine hydraulique de Genève. Ce barrage est en partie mobile et s'enlève presqu'en entier en été, tandis qu'en hiver il est presque absolument fermé.

[1] M. Ph. Plantamour, dans une note publiée dans le cahier de février 1877 des *Archives des sciences physiques et naturelles* de Genève, évalue la pente de la sortie du lac entre son limnimètre de Sécheron, en dehors du port, et celui du Jardin anglais, dans le port de Genève, de 10 à 15 millimètres par les basses eaux, et de 80 à 90 par les hautes eaux.

Pendant les hautes eaux de l'été, le débit du fleuve est amplement suffisant pour actionner les roues et turbines de la machine située en tête de l'Ile de Genève, et le fleuve est débarrassé de toute la partie mobile du barrage; il est à ce point libre de tout obstacle, pour autant du moins que cela est possible dans l'état actuel des choses, état assez défectueux, du reste, comme le montre la simple inspection des lieux. Pendant les hautes eaux le fleuve est donc à peu près libre dans ses allures; il subit une première chute à l'entrée des jetées; dans l'intérieur du port sa pente est très faible, et la chute de $0^m.60$ qu'il fait sur le barrage de fond du pont de la Machine, le sépare définitivement du lac, auquel il n'appartenait déjà plus depuis l'embouchure du port.

En hiver, au contraire, l'administration des eaux de la ville de Genève cherche à suppléer à l'insuffisance du débit du fleuve en augmentant la hauteur de chute; elle cherche à ménager, à emmagasiner l'eau, et à utiliser tout ce qui peut s'écouler à Genève. Dans ce but elle ferme le fleuve aussi exactement que le permet le barrage et relève ainsi considérablement le niveau de l'eau dans le port; il en résulte que le niveau du lac est relevé d'autant, que pendant tout l'hiver le niveau du lac est un niveau artificiel qui n'est aucunement en rapport avec l'importance relative de l'entrée et de la sortie de l'eau par les affluents et par l'émissaire; il en résulte, et c'est là l'important pour le point qui nous occupe, que la section de l'entrée du port de Genève est relativement trop forte en hiver, l'eau y étant plus profonde que ne le comporte le débit naturel du fleuve, que, par suite, le courant y est diminué et la pente presque annulée. La pente de l'entrée du port de Genève devient relativement nulle aussitôt que le barrage de l'Ile est fermé.

Je crois exprimer suffisamment l'état actuel des choses en disant qu'en été le lac vient se butter contre les jetées du port, et en hiver contre le barrage de la Machine.

Cette différence de régime au sujet de la pente du lac est tellement réelle qu'elle se fait sentir sur les observations limnimétriques de Vevey et Genève ; la valeur *d* qui exprime la pente du lac est influencée par l'ouverture ou la fermeture du barrage. Cela est même si évident que pour être exact je devrais étudier une double correction : la première se rapportant aux hautes eaux, le barrage étant enlevé et le cours du fleuve libre; la deuxième applicable au lac lorsque le barrage est fermé et que le lac vient battre contre le pont de la Machine.

Voici quelques chiffres qui montreront la valeur de ces différences, et l'importance de l'erreur commise en n'adoptant qu'une seule correction.

J'indique dans le tableau suivant la valeur moyenne de *d* telle que je l'ai calculée, ainsi que je l'ai dit ci-dessus, pour les différentes hauteurs du lac depuis $1^m.2$ à $1^m.7$ (mesurées à Vevey) ; puis je sépare les observations se rapportant aux temps où le Rhône était barré et aux temps où le Rhône était libre [1] et je calcule pour ces deux séries la valeur moyenne de *d* ; j'indique enfin pour cha-

[1] Je dois à l'obligeante communication de M. Merle d'Aubigné, ingénieur au service des eaux de la ville de Genève, les dates suivantes indiquant les opérations de l'établissement du barrage de la Machine dans les dernières années :

	Enlèvement du barrage.	Etablissement du barrage.
1871	20 avril—22 avril	7 novembre—17 novembre
1872	2 » —27 mai	15 octobre —23 octobre
1873	17 mars—23 avril	30 » — 3 novembre
1874	1 » —12 juin	7 » — 7 »
1875	4 mai —20 mai	9 » —13 octobre
1876	8 mars— 8 avril	20 »

cune des deux séries la différence entre la valeur ainsi épurée et la valeur *d* moyenne générale :

Haut. du lac.	Moyenne générale	Rhône barré.		Rhône débarré.	
h.	de *d.*	*d.*	Différence.	*d.*	Différence.
m.	mm.	mm.	mm.	mm.	mm.
1.2	14.5	14.3	— 0.2		
1.3	21.9	19.2	— 2.7	32.0	+ 10.1
1.4	42.7	20.7	— 22.0	57.1	+ 14.4
1.5	38.0	29.9	— 9.1	38.3	+ 0.3
1.6	36.4	32.2	— 4.2	40.5	+ 4.1
1.7	50.2			58.2	+ 10.0

L'on voit par ce tableau que dans les limites de hauteur du lac qu'il embrasse, la différence entre la moyenne générale de la valeur *d* et la moyenne dans les deux séries est toujours positive quand le Rhône est ouvert, toujours négative quand le Rhône est barré, que par conséquent la correction moyenne que j'ai calculée dans le tableau I et que j'ai admise comme représentant la pente du lac est trop forte lorsque le Rhône est barré, et trop faible lorsqu'il est ouvert. Autrement dit : la pente de la sortie du lac est plus forte lorsque le barrage de Genève est ouvert que lorsqu'il est fermé.

Nous verrons plus tard en étudiant les hauteurs du lac en octobre 1876 comment cette différence dans la pente du lac se traduit dans les observations journalières d'une manière saisissante.

Ces réserves faites, la correction que j'ai indiquée au tableau I est applicable aux lectures limnimétriques du lac et sans que je puisse avoir la prétention de les rendre absolument justes, je suis assuré que l'emploi de ces corrections réduira d'une manière notable des erreurs qui sans cela étaient trop importantes.

Grâce à ces corrections nous pourrons donc, pour aussi longtemps que l'état actuel de l'écoulement du Rhône n'est pas trop modifié, déduire la hauteur du lac des observations du limnimètre du Jardin anglais de Genève, ou déduire la hauteur de l'eau dans le port de Genève, à l'aide des observations de l'un des limnimètres du grand lac.

Il règne dans notre pays au sujet de la pente du lac une idée que j'estime fausse: L'on croit généralement qu'une dénivellation qui aurait lieu à l'une des extrémités du lac se propagerait à l'autre extrémité avec une grande lenteur, et mettrait plusieurs jours à traverser ainsi la longueur du lac; l'on admet par exemple qu'en ouvrant les écluses du barrage de Genève on provoquerait une baisse du lac, mais que cette baisse ne se ferait sentir que successivement et progressivement sur le lac, et qu'elle ne deviendrait perceptible au port de Villeneuve qu'après plusieurs jours écoulés.

Cette opinion se base, si je ne me trompe, sur les observations faites en mars 1865 à propos d'une baisse artificielle du lac [1]. Voici dans quelles circonstances: Les travaux de construction du Grand quai de la ville de Vevey étaient en pleine activité lorsqu'une hausse rapide du lac vint menacer leur achèvement; la municipalité de Vevey s'adressa aux autorités de Genève qui, avec le plus louable empressement, firent enlever en partie le barrage de la Machine pour amener une baisse des eaux du lac. Le 11 mars dans l'après-midi on enleva le barrage sur une hauteur de 16 centimètres; quelques jours après 35 centi-

[1] *Dr Dor.* Quelques observations sur le niveau du lac Léman. Bull. Soc. vaud. sc. nat. VIII. 330 sq.

mètres encore furent supprimés : en tout 50 centimètres. La large ouverture laissée au fleuve provoqua bientôt une baisse des eaux du lac ; mais cette baisse ne fut pas observée en même temps aux différents limnimètres. D'après les chiffres cités par M. Dor, le commencement de l'opération ayant eu lieu le 11 mars à midi, la baisse commença le 12 à Genève, le 13 à Coppet et à Nyon, le 15 seulement à Vevey. La baisse aurait ainsi mis 4 jours pour devenir sensible à Vevey.

Je ne puis croire à une lenteur aussi prodigieuse dans la transmission de la dénivellation sur la longueur du lac. Je pourrais facilement chercher dans une critique des séries d'observations citées par M. Dor la preuve que le degré d'exactitude des lectures limnimétriques n'est pas suffisant pour servir de base à des conclusions aussi graves ; je pourrais faire remarquer, avec M. Dor, que deux des limnimètres du lac, sur cinq, ceux de Rolle et d'Ouchy, n'indiquent aucune baisse dans les jours en question ; je pourrais d'une autre part trouver facilement, dans la vitesse avec laquelle les vagues d'oscillation fixe des seiches traversent la longueur du lac [1], une preuve que l'horizontalité du niveau peut se rétablir en un temps beaucoup plus court que ne le suppose l'opinion que j'attaque. Mais pour ne m'adresser qu'aux observations directes, je citerai seulement le fait suivant :

Le 15 mars 1876 je constatai à Morges, dans l'après-midi, de 1 à 4 heures, une baisse de un centimètre envi-

[1] La durée de l'oscillation entière des seiches longitudinales du lac Léman étant de 73 minutes environ, l'onde se propage d'un bout du lac à l'autre dans un laps de temps de 36 minutes environ, soit une demi-heure.

ron [1]. Cette baisse m'étonna, car toutes les conditions du lac devaient plutôt amener une hausse, ou plutôt la continuation de la hausse qui régnait depuis plusieurs jours : le Rhône en Valais était très fort, les affluents directs du lac étaient tous plus ou moins débordés, le fœhn soufflait sur les hauteurs et la neige fondait avec une rapidité prodigieuse. Je supposai alors que le barrage de la Machine avait été enlevé à Genève et j'écrivis au directeur du service des eaux de la ville de Genève pour connaître la date de cet enlèvement. M. l'ingénieur Merle d'Aubigné m'écrivit avec le plus obligeant empressement : « En réponse à votre lettre de ce jour, j'ai l'honneur de vous prévenir qu'effectivement nous avons, hier 15 courant, à partir de 6 heures du matin, commencé à enlever le barrage ; à 4 heures du soir, toute la rive gauche était débarrassée... »

Cette lettre confirmait entièrement ma supposition. Le niveau du lac avait suivi à Morges, dans la journée même, la baisse provoquée à Genève par l'enlèvement du barrage ; le changement de niveau avait été pour ainsi dire simultané dans tout le lac.

§ III. — Des variations dans le niveau de l'eau.

Les variations que l'on peut observer dans la hauteur de l'eau, soit qu'on l'étudie d'un jour à l'autre, soit qu'on compare le même jour deux limnimètres différents, se rapportent à différents phénomènes qu'il est important de bien reconnaître ; ces mouvements sont désignés sous le

[1] Mon limnimètre enregistreur ne fonctionnait pas encore complétement ; le mouvement d'horlogerie n'était pas encore en jeu, et je déplaçais à la main le papier sur lequel le crayon inscrivait la hauteur du lac. Cela dit pour justifier le peu de précision de ces chiffres et de ces heures.

nom de variations de niveau, de changements de niveau, de dénivellations, etc. Je veux essayer d'apporter un peu de clarté dans ces appellations et pour cela je ferai quelques définitions [1].

Les changements de hauteur de l'eau, autres que les vagues et vibrations du lac, peuvent être de deux natures très différentes :

Les uns sont des mouvements généraux, dus aux changements de volume de la masse du lac ; toute la nappe s'élève ou s'abaisse dans son ensemble, le niveau général restant horizontal. J'appellerai ces mouvements des *variations de hauteur*, variations en hausse ou en baisse, crues ou décrues du lac.

Les autres sont des mouvements locaux, ou bien, s'ils sont généraux, ils se présentent différemment aux différentes localités du lac. La masse du lac, le volume de l'eau restent les mêmes, la hauteur moyenne du lac n'est pas modifiée, mais la nappe s'incline et le niveau n'est plus horizontal. La surface perd son horizontalité et l'eau s'élève en certaines régions pour s'abaisser en d'autres. J'appellerai ces changements dans le niveau de l'eau des *dénivellations*.

J'aurai plus loin à distinguer entre diverses sortes de dénivellations.

§ IV. — Variations de hauteur. Niveau moyen.

Le lac Léman est, au point de vue de ses variations de hauteur, un lac alpin. Tandis que les lacs de plaine et

[1] Les faits dont je traite peuvent s'appliquer à toute nappe d'eau dormante, océan, méditerranée, lac ou étang, mais je les considérerai essentiellement et surtout en me basant sur les conditions de notre lac Léman.

ceux du Jura présentent leurs maximums de hauteur pendant les pluies de l'automne, et au moment de la fonte des neiges de l'hiver, et offrent des minimums pendant les gels de l'hiver et les sécheresses de l'été, notre lac a un régime tout différent. Les glaciers et neiges éternelles du Valais, dont la surface énorme forme plus du huitième de son bassin d'alimentation [1], fondent sous l'influence des chaleurs de l'été, et leurs eaux décuplent le volume du Rhône, affluent principal du lac ; les eaux du Léman très basses en hiver sont très hautes en été, et les crues de l'automne et du printemps sont à peine sensibles à côté de la grande crue estivale qui dure 3 mois.

M. E. Plantamour a très bien étudié ces variations dans sa Notice sur la hauteur des eaux du lac, et il a parfaitement indiqué les lois générales de leur développement; il a en particulier très bien montré les relations qui existent entre la hauteur des eaux et les conditions d'humidité et de chaleur de l'année. Mais il est un point qu'il n'a pas pu étudier avec assez de précision, c'est la question du niveau moyen du lac. Son travail se rapportait en effet au niveau du port de Genève et quoique les relations de ce bassin avec le lac soient très intimes, cependant le niveau du port n'est pas le niveau du lac; ainsi que nous l'avons vu plus haut, il y a une pente

[1] D'après la commission hydrométrique suisse, le bassin d'alimentation du lac Léman se compose comme suit:

Bassin du Rhône, en nature de glaciers et neiges éternelles	1037.3	kilom. carrés.
Bassin du Rhône, en nature de rochers et terrain	4345.3	»
Bassin des affluents directs du lac . . .	2034.1	»
Lac Léman	577.8	»
Ensemble . . .	7994.5	kilom. carrés.

sensible à l'entrée du port, et pour l'étude du niveau du lac il y a un certain intérêt à s'adresser au lac lui-même.

J'ai mis en œuvre simultanément deux méthodes pour connaître le niveau absolu du lac, et la comparaison des résultats me donnera quelques conclusions intéressantes.

J'ai en premier lieu obtenu la hauteur du lac par voie indirecte. Profitant des chiffres moyens que M. Plantamour a calculés d'après les observations du limnimètre de Genève, j'y ai apporté la correction *D* de la pente de la sortie du lac que j'ai étudiée dans un paragraphe précédent et j'ai ainsi eu la hauteur théorique du lac.

J'ai en second lieu étudié le niveau absolu directement, en calculant les moyennes d'après les observations faites sur le lac lui-même. La même étude que M. Plantamour a faite sur le limnimètre de Genève, je l'ai faite sur les observations de Vevey. J'ai pris les moyennes mensuelles des observations journalières faites à Vevey, et je les ai réduites au moyen de l'équation du limnimètre en cotes du limnimètre normal de Burnier. Je donne dans le tableau II les moyennes mensuelles de chaque année, les moyennes mensuelles de l'année moyenne, les moyennes annuelles, et enfin la moyenne générale des moyennes annuelles. J'ai établi ce tableau sur le même plan que celui que M. Plantamour a fait pour le port de Genève, de manière à ce qu'une comparaison utile fût possible [1].

(Voir le tableau II à la page ci-contre).

[1] C'est ainsi que comme M. Plantamour, j'ai calculé la moyenne annuelle en prenant la moyenne arithmétique des moyennes des 12 mois de l'année sans tenir compte de la différence de durée des mois qui ont 28, 29, 30 ou 31 jours

Tableau II.

Hauteur absolue du lac Léman pendant les années 1851-1875, d'après les observations du limnimètre de Vevey.

	Janvier.	Février.	Mars.	Avril.	Mai.	Juin.	Juillet.	Août.	Septemb.	Octobre.	Novemb.	Décemb.	Moyenne.
	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
1851	0.977	0.903	0.822	0.981	1.051	1.307	1.784	2.312	1 871	1.428	1.024	0 840	1.275
52	0.877	0.946	0 789	0.866	0 950	1.244	1.768	2.221	2.245	1.928	1.409	1.208	1.371
53	0.992	0.892	0.789	0.896	1.142	1.564	2.275	2.271	2.019	1.400	0.967	0.779	1.332
54	0.757	0.822	0.845	0.971	0 998	1.083	1.753	2.023	1.612	1.121	0.845	0 994	1.152
55	1.007	1.095	1.166	1.133	1.168	1.747	2.130	2.089	1.890	1.545	1.210	0.860	1.420
56	0.977	1.217	0.938	1.087	1.362	2.019	2.006	2 016	1.702	1.212	0.837	0.906	1.357
57	0.959	0.844	0.811	0.977	0.926	1.170	1.476	1.790	1.593	1.194	0.882	0.835	1.121
58	0.694	0.628	0.674	1.002	1.024	1.271	1.426	1.599	1.372	1.116	0.966	1.079	1.071
59	1 019	0.976	1.019	1.214	1 264	1.425	2.003	2.188	1.655	1.184	1.424	1.218	1.382
1860	1.194	0.969	1.049	1.274	1.513	1.958	2.153	1.992	2.203	1 870	1.334	1.203	1.559
61	1.133	1.030	1.156	1.285	1.194	1.721	2.234	2.415	1.960	1.335	1.247	1.261	1.498
62	1.050	1.156	0 981	1.064	1.128	1.505	1.686	1.993	1.725	1.363	1 278	1.052	1.332
63	1.016	1.124	1.176	1 286	1.383	1.827	2.163	2.084	2.103	1.803	1.331	1.156	1.538
64	1.055	0.977	1.053	1 167	1.499	1.908	2.176	2.211	1.907	1.397	1.278	1.203	1.486
65	1.073	1.333	1.299	1.276	1.618	1.795	2.035	2.231	2.179	1.572	1.384	1.285	1.590
66	1.207	1.460	1.347	1.218	1.437	1.845	2.319	2.402	2.341	1.913	1.336	1.450	1.689
67	1 558	1.527	1.457	1.624	1.906	2.383	2.582	2.308	2.125	1.626	1.210	1.053	1.779
68	0.946	0.931	1.007	1.129	1.622	2.086	2.164	2 345	2.012	1.829	1.328	1.359	1.563
69	1.468	1.233	1.188	1.204	1.515	1.914	1.957	2 161	1.843	1.413	1.101	1.245	1.520
1870	1.072	0.931	0.946	0.974	1.255	1.768	2.080	2 218	1.804	1.524	1.798	1.571	1.498
71	1.253	1.250	1.323	1 445	1.624	1.747	2.298	2.379	2.155	1.869	1.304	1.065	1.643
72	1.004	1.095	1.221	1.275	1.435	1.843	2 220	2.517	2.044	1 670	1.650	1.580	1.629
73	1.322	1.161	1.389	1.534	1.420	1.587	2.342	2.511	2.160	1.566	1.232	1.164	1.616
74	1.020	0.882	0.813	0.963	1.194	1.648	2 176	2.417	1.988	1.520	1.193	1.319	1.428
75	1.283	1.182	1.013	1.011	1.564	2.131	2.400	2.401	2.076	1.733	1.856	1.535	1.682
Moyenne	1.076	1.062	1.047	1.154	1.328	1.700	2.064	2.205	1.943	1.525	1.297	1.213	**1.468**

De l'étude de ce tableau II, de l'étude comparative des tableaux des hauteurs du lac à Vevey et à Genève, enfin de l'étude indirecte que j'ai faite de la hauteur du lac en corrigeant les moyennes de Genève, je tire les faits suivants :

1° Depuis le 26 janvier 1851 à aujourd'hui le limnimètre de Vevey a fonctionné sans interruption autre que celle de deux réparations, l'une du 3 au 18 septembre 1860, et l'autre du 24 au 27 août 1867 ; en comparant les cotes précédant et suivant ces réparations avec celles des observations de Nyon, j'ai trouvé qu'il n'y avait pas eu de changement appréciable dans l'équation. J'ai laissé de côté les observations faites depuis janvier 1847 au 25 janvier 1851, parce que, à cette dernière date, il a été fait une réparation importante à la tige du limnimètre, réparation qui a changé l'équation d'environ $+ 0^m.46$, qu'elle était auparavant, en $+ 0^m.234$, qu'elle est actuellement. Pour le mois de janvier 1851 j'en ai déduit la valeur, d'après les observations du limnimètre de Rolle, dont j'ai déterminé avec suffisamment d'exactitude l'équation par une comparaison de six mois de l'année 1851. Je me suis arrêté au 31 décembre 1875. Je dispose ainsi d'une série de 25 années entières, très convenablement comparables.

2° La moyenne générale que j'obtiens des 9130 observations journalières de ces 25 ans est de $1^m.468$.

3° Je veux comparer cette moyenne avec les observations de Genève. Pour cela je lui applique la correction *D* de la pente du lac, soit $- 31^{mm}$, et j'arrive à une valeur de $1^m.437$ pour le niveau moyen du port de Genève pendant ces 25 ans.

A ce chiffre obtenu par voie indirecte, opposons celui que nous donne l'observation directe.

	m.
D'après les chiffres de M. Plantamour, la moyenne de 1851 à 1873 est de	1.411
Ce chiffre doit être complété par les moyennes de 1874 et de 1875 [1].	
La moyenne de Genève en 1875 a été de . .	1.399
» » 1874 » . .	1.639
D'où j'ai tiré la moyenne de Genève de 1851 à 1875	1.419
Différence entre le chiffre obtenu par le calcul et le chiffre obtenu par l'observation directe . . en faveur de la voie directe.	0.018

Reprenons ces chiffres.

L'observation directe me donne pour la moyenne générale de ces 25 années :

A Vevey	1.460
A Genève	1.419
Différence que nous avons appelée d . . .	0.049

La méthode indirecte me donne :

A Genève	1.437
Différence D	0.031

Si je fais $d - D = d'$

d' sera dans ce cas $+ 18^{mm}$.

J'utiliserai comme on va le voir cette valeur d' qui exprime la différence réelle entre la hauteur du lac à Vevey

[1] Ces moyennes ont été calculées d'après les observations journalières publiées dans les cahiers des Archives des sc. ph. et nat. Pour les quelques observations de février et mars 1874 qui font défaut, je les ai remplacées par celles de Vevey auxquelles j'ai apporté une correction convenable.

et à Genève, déduction faite de la correction D de la pente du lac normale; d' exprime donc les écarts dans la marche relativement parallèle des deux limnimètres.

Si d' avait été égal à 0, les deux séries d'observations auraient reçu ainsi une éclatante confirmation ; leur marche aurait été démontrée parallèle. Mais d' ayant une valeur très importante, nous devons reconnaître qu'il y a désaccord entre les deux séries d'observations, et je dois essayer de rechercher la signification de ce désaccord.

Je pourrais l'attribuer à trois causes :

a) J'ai appliqué la correction à la moyenne, au lieu de prendre la moyenne des observations journalières corrigées. L'erreur commise ainsi ne peut avoir une très grande importance ; en effet, la correction s'accroît dans le même sens que la profondeur de l'eau. Si les deux progressions étaient absolument régulières, l'erreur serait nulle ; le défaut de régularité dans la progression de la pente du lac est assez peu de chose pour que je sois assuré que l'erreur est presque nulle.

b) Le désaccord peut tenir à l'insuffisance des observations. Si l'une des deux séries, et à plus forte raison, si les deux séries présentent des erreurs de lecture, de réduction ou de calcul, il est évident que la concordance de marche ne pourra plus avoir lieu et qu'une divergence sera constatée dans les moyennes.

c) Le désaccord peut tenir enfin à des variations dans la pente du lac. La correction D a été calculée d'après les moyennes des années 1870-1875; si la pente du lac a changé pendant la période 1851 à 1875, si avant 1870 elle était différente de ce qu'elle a été depuis 1870, la va-

leur d' le montrera. Et d'après la manière dont je calcule la valeur d', les variations de la pente du lac se traduiront par une valeur d' positive quand la pente du lac était plus forte qu'en 1870-1875, par une valeur d' négative quand la pente était plus faible.

Quelle est de ces trois causes celle qui occasionne le désaccord $d' = + 18^{mm}$ entre les moyennes de 25 ans des deux séries d'observations limnimétriques de Vevey et de Genève ? Cherchons à résoudre cette question.

Pour cela adressons-nous, non plus aux moyennes générales de 25 ans, mais aux moyennes annuelles et mensuelles, et tirons de la comparaison de ces chiffres les valeurs d'. (Voir le tableau III à la page ci-contre).

Dans ce tableau j'ai calculé la valeur d' comme je l'ai dit en comparant soit les moyennes mensuelles, soit les moyennes annuelles des deux stations. Pour la valeur annuelle de d' j'aurais pu prendre la moyenne des valeurs mensuelles de d'; mais les irrégularités et erreurs que je vais constater dans les moyennes mensuelles auraient eu sur la moyenne annuelle une influence trop considérable et trop variable; j'ai préféré faire directement la comparaison des moyennes annuelles des deux stations et en tirer d'.

En étudiant ce tableau III je remarque que la valeur d' est très variable d'un mois à l'autre et d'une année à l'autre; que ces écarts restent en général dans les limites modérées, au-dessous de $\pm$ 100 millimètres et même au-dessous de $\pm$ 50 millimètres; qu'il y a cependant un certain nombre de chiffres très divergents. C'est ainsi que sur 300 valeurs mensuelles de d', 17 dépassent $\pm$ 100 millimètres, et sur ces 17, trois dépassent $\pm$ 200 millimètres.

Tableau III.

Variations de la pente du lac Léman pendant les années 1851—1875.

(Ce tableau exprime en millimètres l'excès en plus ou en moins de la pente du lac, au-dessus ou au-dessous de la pente moyenne calculée pour les années 1870-75.)

	Janvier. mm.	Février. mm.	Mars. mm.	Avril. mm.	Mai. mm.	Juin. mm.	Juillet. mm.	Août. mm.	Septembre mm.	Octobre. mm.	Novembre. mm.	Décembre. mm.	Année. mm.
1851	— 16	— 45	— 6	— 27	— 15	— 22	— 30	— 46	—145	+ 2	+ 13	— 10	— 25
52	+ 27	+ 22	— 27	— 38	— 21	+ 21	+ 55	— 60	+ 28	— 72	— 61	+ 69	— 1
53	+ 31	+ 13	— 35	0	— 38	— 17	— 64	+ 72	— 79	+ 8	— 95	0	— 14
54	+ 8	— 25	— 45	— 46	— 23	— 18	+131	— 2	+ 26	+ 10	—161	— 67	— 15
55	— 1	+ 66	+ 8	— 56	— 59	— 16	— 7	— 4	— 73	— 57	—255	—158	— 49
56	— 73	+ 41	— 75	— 54	— 30	+ 21	+113	+282	+165	+106	— 58	+ 1	+ 49
57	— 1	— 3	—112	— 59	—237	— 53	+ 42	+ 72	— 25	+ 19	+ 61	+ 93	— 16
58	+ 54	— 14	— 92	— 7	+ 13	+115	+ 16	+ 54	+ 38	+ 3	— 33	— 1	+ 14
59	+ 9	— 8	— 18	— 8	+ 38	+ 33	+ 51	+ 74	+ 69	+ 25	+ 70	+ 63	+ 34
1860	+ 83	+ 9	+ 14	+ 34	+ 77	+101	+107	+ 88	+ 97	+ 76	+ 37	+ 53	+ 67
61	+ 43	+ 4	+ 9	+ 38	+ 23	+ 54	+133	+ 92	+146	+ 37	+ 8	+ 28	+ 62
62	+ 25	+ 3	0	— 7	+ 2	+ 38	+ 42	+ 68	+ 62	+ 40	+ 19	+ 16	+ 27
63	+ 19	+ 7	— 13	— 7	+ 17	+ 14	+ 32	+ 40	+ 67	+ 45	+ 40	+ 16	+ 26
64	+ 14	+ 25	— 9	— 40	— 6	+ 2	+ 13	+ 1	+ 13	0	— 11	+ 4	+ 2
65	— 10	— 19	— 27	— 5	+ 35	+ 28	+ 75	+ 35	+126	+ 3	— 2	+ 2	+ 21
66	— 7	+ 2	+ 16	+ 76	+ 36	+ 13	+ 26	+ 26	+ 34	+ 15	+ 12	0	+ 21
67	+ 30	+ 27	+ 16	+ 19	+ 47	+ 25	+ 31	+ 27	+ 12	+ 35	+ 11	+ 2	+ 24
68	+ 8	— 14	+ 2	— 1	+ 16	— 9	— 8	+ 2	+ 8	+ 1	+ 12	+ 18	+ 5
69	+ 1	— 1	— 8	— 4	+ 22	+ 20	+ 11	— 3	+ 1	+ 12	+ 12	+ 21	+ 9
1870	— 6	0	+ 2	— 6	— 16	— 1	— 4	+ 6	— 5	+ 58	— 13	— 19	+ 3
71	— 71	— 17	— 8	— 14	— 24	0	+ 12	+ 5	— 17	+ 2	— 6	+ 15	— 9
72	+ 23	— 11	— 13	— 29	— 2	+ 8	— 8	— 1	— 29	+ 10	— 4	+ 13	— 3
73	— 9	— 25	— 1	— 5	+ 21	+ 15	— 8	0	+ 37	+ 21	— 1	+ 35	+ 8
74	+ 4	+ 1	— 2	— 7	— 12	— 8	— 5	— 10	+ 2	+ 10	— 10	— 11	— 1
75	— 3	+ 4	— 3	0	— 6	+ 4	+ 7	+ 4	+ 14	+ 7	— 7	— 17	+ 1

Ce premier aperçu nous apprend que, dans l'explication de la discordance entre les moyennes des deux séries, nous devons tout d'abord éliminer la première cause que j'ai indiquée. L'application de la correction D à la moyenne des chiffres et non aux observations isolées, ne peut être l'origine principale de la différence entre les moyennes ; car, dans ce cas, la valeur d' aurait eu à peu près la même importance chaque année et aurait été toujours de même signe, la courbe annuelle des variations de niveau étant, d'une année à l'autre, très sensiblement la même, dans ses traits généraux du moins.

Restent les deux autres possibilités : erreurs dans les observations et variations dans la pente du lac. Pour juger entre ces deux explications, poursuivons l'étude du tableau. Cherchons à comprendre ce que signifient ces irrégularités.

Si nous prenons les années 1870-1875 qui m'ont servi pour l'établissement de la correction D de la pente du lac, nous y trouvons l'explication d'une partie de ces différences. En effet, même dans ces années pour lesquelles la correction D a été calculée, elle ne suffit pas à mettre complétement d'accord les observations de Vevey et de Genève ; tantôt elle est trop forte, tantôt elle ne l'est pas assez. Les écarts mensuels de la valeur de d' varient de $+ 58$ à $- 29$ millimètres [1]. Nous verrons dans un paragraphe subséquent à expliquer ces anomalies qui sont dues à des dénivellations temporaires, parfaitement observées et dont l'origine doit être cherchée dans l'action

[1] Le mois de janvier 1871 avec — 71^{mm} d'écart doit être enlevé de la comparaison ; les observations de Genève sont évidemment insuffisamment exactes ; cette époque correspond du reste avec la dernière maladie de Bruderer, astronome adjoint à l'Observatoire de Genève.

des vents et dans les variations de la pression atmosphérique ; pour le moment, bornons-nous à constater que pour une période dont nous sommes parfaitement sûrs, dans laquelle l'équation des limnimètres a été vérifiée avec attention, dans laquelle les observations ont été collationnées jour après jour, les moyennes mensuelles des deux stations peuvent offrir dans leur marche un défaut de parallélisme assez grand pour que, la correction de la pente faite, il reste encore entr'elles un écart de $\pm$ 58 millimètres.

Reportons cette donnée au reste du tableau et nous aurons ainsi l'explication générale des irrégularités qui existent d'un chiffre à l'autre lorsque ces irrégularités sont dans des limites modérées; mais cela ne nous dit rien sur les chiffres exceptionnels dont l'écart dépasse 50, 100 et 200 millimètres, cela ne nous explique pas non plus les séries de valeurs d' de même signe et presque de même importance qui existent dans le tableau.

Ces variations de d', avons-nous dit, peuvent être attribuées ou bien à des changements dans la pente du lac, ou bien à des erreurs. Cherchons les caractères que présenteraient ces variations de d' dans les deux suppositions, et voyons dans notre tableau comment elles pourraient s'appliquer.

Traitons d'abord des erreurs possibles.

a) Il pourrait y avoir erreur dans l'équation des limnimètres. Diverses réparations ont été faites aux deux appareils de Genève et de Vevey, et l'équation des limnimètres n'a pas toujours été vérifiée avec assez de soin avant et après l'opération. Une erreur de ce genre serait reconnaissable à ce que l'écart serait toujours exactement le

même entre les deux séries d'observations. Or ce n'est pas le cas et nous devons écarter cette cause d'erreurs.

b) Il peut y avoir des négligences dans les lectures. Il est arrivé parfois que des observateurs peu consciencieux ont négligé pendant des jours et même des semaines de faire des lectures, et ont rapporté plus tard des chiffres tout à fait fantaisistes sur les carnets d'observation; ou bien ils ont été copier les chiffres d'un camarade, observant à un limnimètre voisin, sans se douter que l'équation des deux limnimètres était différente. En comparant les cahiers des divers limnimètres du lac, j'ai trouvé à une ou deux reprises des traces évidentes de monstruosités de ce genre; mais je ne crois pas la chose probable dans le cas qui nous occupe. Pour les observations de Genève, elles ont trop bien été critiquées par M. E. Plantamour pour qu'une semblable erreur soit possible; pour celles de Vevey, je n'ai rien su reconnaître de semblable.

c) Il peut y avoir imperfection des appareils ou défectuosité dans leur marche. Il arrive parfois avec les limnimètres à flotteur que la tige verticale elle-même ou les fils qui la guident s'accrochent et s'arrêtent pendant quelques jours, que l'appareil reste soulevé en l'air ou enfoncé dans l'eau pendant un temps plus ou moins long (Cf. Genève [1], février et mars 1874); ou bien la bouteille du flotteur se remplit d'eau et se submerge petit à petit. (Cf. Genève, mars 1841. — Rolle, janvier 1854 à octobre 1856).

Il doit s'être passé pendant la période qui nous occupe

[1] Je prends ces exemples dans les observations de Genève qui ont été très attentivement surveillées. Si j'avais pu suivre mois par mois et jour par jour celles de Vevey, j'y aurais peut-être trouvé des exemples semblables.

quelque chose de semblable dans les mois de mars et de mai 1857, mois pendant lesquels le limnimètre de Genève est resté stationnaire, ou à peu près, tandis que les autres limnimètres du lac indiquaient des variations de niveau de 15 à 20 centimètres. De même pendant les derniers mois de l'année 1855, car nous voyons tout à coup, du 31 décembre 1855 au 1er janvier 1856, le limnimètre de Genève monter de 19 centimètres (7 pouces), tandis que les autres limnimètres du lac restent stationnaires. J'utiliserai plus loin les corrections que je signale ici.

d) Il y a la possibilité d'erreurs de lecture et de transcription des observations journalières ; mais quelle que puisse être l'importance individuelle d'erreurs de cette nature, elles se perdent dans les moyennes mensuelles et ne doivent pas entrer ici en ligne de compte [1].

e) Il peut y avoir enfin des erreurs dans le calcul des moyennes.

En résumé, pour ce qui regarde les erreurs dans les deux séries d'observations, nous avons la possibilité d'expliquer :

En premier lieu certains chiffres anormaux et aberrants par des négligences dans les lectures, par des arrêts et défectuosités dans la marche des limnimètres, et enfin par des erreurs de calcul, — et dans le fait nous corrigeons quelques-unes des différences les plus aberrantes en constatant des erreurs de ce genre. Celles-ci sont caractérisées par le fait que la valeur divergente de d' est isolée à côté de valeurs normales.

En second lieu, certaines séries de chiffres où la valeur

[1] Il en serait de même des erreurs dues aux seiches.

de d' est trop forte ou trop faible, par des incorrections dans l'équation des limnimètres. Des erreurs de ce genre se reconnaîtraient parce que le signe et la valeur de d' seraient toujours les mêmes, et cela sans interruption pendant une série de mois ou d'années.

Après avoir constaté ainsi la possibilité d'expliquer par des erreurs certaines divergences de la valeur de d', reste la deuxième hypothèse qui attribuerait d'autres divergences à ce que la pente de la sortie du lac aurait varié. Comment des variations dans la pente du lac se traduiraient-elles dans les valeurs de d', telles qu'elles sont exposées dans le tableau III ? C'est ce qu'il est facile d'indiquer.

Si la pente variait en augmentant d'intensité, ce fait se traduirait par une variation continue de la valeur d', qui aurait toujours le signe positif; de plus, cette augmentation de la valeur d' serait variable, et serait d'autant plus forte que le lac serait plus élevé. Si donc nous trouvons une série d'années dans lesquelles d', étant toujours positif, aurait eu une valeur plus forte dans les mois d'été que dans les mois d'hiver, nous devrons en conclure que pendant cette période la pente entre le grand lac et le limnimètre du port de Genève a été plus forte qu'elle l'est actuellement.

Si la pente variait en diminuant, ce fait se traduirait par une variation continue de la valeur d' qui aurait toujours le signe négatif et de plus serait variable, avec des valeurs d'autant plus fortes que le lac serait plus élevé. Une série d'années où d' serait négatif et avec des valeurs plus fortes en été qu'en hiver auraient donc eu une pente de la sortie du lac moins forte que celle existant actuellement.

Revenons à notre tableau III et cherchons si nous retrouvons aux variations de la valeur d' quelques-uns des caractères que je viens d'exposer, et si nous pourrons en déduire les causes de ces variations. Nous y constatons les faits suivants :

a) D'une manière générale les écarts considérables et isolés de la valeur d' qui doivent être attribués à des erreurs sont beaucoup plus nombreux dans les 10 premières années de la période de 25 ans que dans les 15 dernières ; la précision des observations va donc notablement en s'améliorant à mesure que l'on s'adresse à des époques plus rapprochées de nous.

b) Nous avons vu qu'il y avait probablement erreur dans les observations de Genève de mars et de mai 1857 ; que les chiffres négatifs de d' de ces deux mois doivent être corrigés. Je suis donc autorisé à supposer que la valeur annuelle de 1857 $d' = -16^{mm}$ devrait être changée en une valeur positive ; n'ayant pas d'éléments pour déterminer l'importance de cette correction, j'attribue à d' de l'année 1857 une valeur de $+ 14^{mm}$, comme l'année suivante 1858.

c) Cela étant admis, si je considère les moyennes annuelles de d' (dernière colonne du tableau III) je trouve une différence très marquée dans les allures de cette valeur du commencement à la fin de la période :

Dans les 5 premières années, 1851-1855, d' est constamment négatif, et cela d'une manière très marquée ;

Dans les 6 années suivantes, 1856-1861, d' est toujours positif et avec des valeurs très élevées ;

Dans les 6 années suivantes, 1862-1867, d' est positif, mais avec des valeurs modérées ;

Dans les 8 dernières années, 1868-1875, d' a des valeurs très faibles, tantôt positives, tantôt négatives, qui arrivent en définitive à se compenser presque.

C'est ce que je puis traduire en chiffres en prenant les moyennes de ces périodes :

Ire	période,	1851-1855,	moyenne de d'	— 21mm.
IIe	»	1856-1861,	»	+ 40
IIIe	»	1862-1867,	»	+ 20
IVe	»	1868-1875,	»	+ 2

Autrement dit, dans la Ire période jusqu'en 1855 la valeur d' a été négative; depuis 1856 dans les trois dernières périodes elle a été positive, mais en décroissant d'importance d'une période à l'autre.

d) Si au lieu de considérer les moyennes annuelles, j'étudie les moyennes mensuelles de d', je crois reconnaître pour la IIe et la IIIe périodes le genre de variation, les allures que j'ai dit devoir caractériser des changements dans la pente du lac. En effet, au milieu des inégalités et des irrégularités dues aux diverses causes énumérées plus haut, je constate que les valeurs de d', très faibles aux basses eaux, deviennent énormes aux hautes eaux, que la valeur d' s'accroît avec la hauteur des eaux. Je citerai comme exemple l'année 1860, et pour bien montrer les relations dont je parle entre l'accroissement de d' et la hauteur du lac, j'indiquerai dans une première colonne la hauteur moyenne du mois mesurée à Vevey ; en regard je donnerai la valeur d' :

1860	Hauteur du lac		d'	1860	Hauteur du lac		d'
	m.				m.		mm.
Janvier . .	1,194	+	83	Juillet . .	2,153	+	107
Février . .	0,969	+	9	Août . .	1,992	+	88
Mars . .	1,049	+	14	Septembre	2,203	+	97
Avril . .	1,274	+	34	Octobre .	1,870	+	76
Mai . . .	1,513	+	77	Novembre	1,334	+	37
Juin . . .	1,958	+	101	Décembre.	1,203	+	53

Sauf pour le mois de janvier, l'importance de *d'* augmente régulièrement avec l'accroissement de hauteur du lac. Si l'on étudie attentivement le tableau III, l'on peut reconnaître des allures de ce genre pour la plupart des années de ces périodes. Ce qui signifierait, traduit comme nous l'avons indiqué plus haut, que la pente du lac était plus forte pendant les années 1856-1867 qu'elle ne l'est actuellement.

Pour la première période nous avons une variation négative de *d'*, ce qui indiquerait une diminution de la pente du lac ; mais je ne sais pas reconnaître, au milieu des irrégularités continuelles des valeurs mensuelles de *d'*, les allures régulières qui prouveraient l'existence de cette diminution de pente. Ces irrégularités, je les attribue, avec toutes probabilités, à des erreurs, mais elles sont assez fortes pour masquer l'augmentation de la valeur négative de *d'* dans les mois d'été et sa diminution dans les mois d'hiver.

En dois-je conclure que cette variation négative de *d'* dans cette première période n'est pas due à une diminution de la pente ? Dois-je l'attribuer à un changement dans l'équation de l'un des limnimètres à la fin de la période, changement d'équation qui, nous l'avons vu, se traduirait par une augmentation ou un abaissement con-

tinus et réguliers de d' ? Je ne le pense pas. En effet, si je consulte l'histoire de ces limnimètres, je ne trouve aucune trace de réparations ou de changements importants correspondant à ce moment[1]. A Vevey il n'y a pas eu de réparations marquées sur les registres entre le 26 janvier 1851 et le 3 septembre 1860 ; à Genève le changement du limnimètre s'est fait comme je le dirai plus loin, le 31 mai 1862.

J'attribuerai donc avec suffisamment de probabilités la variation négative de d' dans les années 1851-1855 à ce que la pente du lac était pendant cette première période moins forte qu'elle ne l'est actuellement.

Quant à la quatrième période 1868-1875, le calcul de la correction d' de la pente normale du lac ayant été fait d'après la majeure partie de ces dernières années, il est facile de comprendre comment il n'y a pas pour elles de variation de pente sensible.

En résumé je crois reconnaître dans l'étude de la valeur d' l'indice des variations suivantes de la pente de la sortie du lac :

De 1851 à 1855 la pente du lac était sensiblement plus faible qu'elle ne l'est actuellement ; la différence entre le limnimètre du port de Genève et ceux du Grand lac était moins forte qu'elle ne l'était dans les années 1870-1875.

Vers 1855 à 1856, il s'est produit une forte aggrava-

[1] J'ai cherché à expliquer le changement dans le signe de d' par les accidents arrivés au limnimètre de Genève, du 31 décembre 1855 au 1er janvier 1856. Il y a en effet une différence de 19 centimètres entre les cotes de ces deux jours sans qu'il y ait eu de variation sensible dans le niveau du Grand lac. Mais en comparant les observations du lac aux différents limnimètres, je ne crois pas que les irrégularités et arrêts dans la marche du limnimètre de Genève s'étendent plus loin que les mois de novembre, décembre 1855 et janvier 1856.

tion de la pente du lac qui a plus que doublé; cette pente s'est élevée aux hautes eaux jusqu'à 180 ou 200 millimètres.

Cette aggravation de la pente du lac a été en diminuant petit à petit; elle était moyenne de 1862 à 1867; depuis 1868 elle est à peu près ce que nous la voyons actuellement.

Tel est le résumé de l'étude théorique, de la comparaison des observations limnimétriques de Genève et de Vevey. Cela peut-il être admis; cela correspond-il à des faits connus de l'histoire du lac?

Pour répondre à cette question, recherchons quel a été l'état des débouchés du lac pendant la période qui nous occupe. Il est évident en effet que toute variation dans la pente du lac doit être causée par des changements dans l'émissaire, dont le canal plus ou moins large, plus ou moins libre, facilite ou entrave le courant de sortie, relève ou abaisse le niveau du lac. Nous avons vu dans un paragraphe précédent l'effet du barrage de la Machine hydraulique de Genève sur la pente de sortie du lac; à présent que nous constatons des variations dans la pente pouvons-nous trouver dans les barrages de la sortie du lac des changements qui correspondent à ces variations?

Pendant les vingt-cinq dernières années, l'Etat et la ville de Genève ont fait exécuter dans le port des travaux considérables, magnifiques, qui en transformant et en embellissant encore cette rade splendide n'ont pas été sans influence sur l'écoulement du fleuve qui la traverse; quelques-uns de ces travaux ont facilité la marche du Rhône; d'autres l'ont entravée, quelques-uns ont fait augmenter la pente de la sortie du lac, d'autres l'ont fait diminuer. Il

ne peut entrer dans mon plan de faire ici une critique détaillée de ces travaux au point de vue de l'écoulement de l'émissaire du lac ; cela n'est ni dans ma compétence, ni dans mes intentions. Je me bornerai simplement à l'indication des faits principaux et à leur interprétation la plus simple et la plus élémentaire.

Je ferai cependant remarquer, car cela rentre plus spécialement dans mon sujet, que tout obstacle au cours du Rhône au-dessus du limnimètre du port de Genève a pour effet d'augmenter la pente de la sortie du lac [1], tout obstacle au-dessous de ce limnimètre a pour effet de diminuer cette pente ; la suppression des obstacles au cours du Rhône a un effet inverse.

Le barrage du pont de la Machine a constamment été renforcé et insensiblement modifié par des travaux de détail convergents tous vers le même but, à savoir fermer plus exactement la sortie du lac en hiver, et augmenter la hauteur de chute du Rhône sous les roues et turbine de la Machine hydraulique.

Les anciens pilotis qui formaient une double estacade à l'entrée du port, l'une partant de l'île Rousseau et aboutissant à l'angle du port du Commerce, l'autre plus en avant, ont été arrachés. Les deux jetées actuelles les ont remplacés ; partant l'une des Pâquis l'autre des Eaux-Vives, à environ 700 mètres de l'île des Barques, ces deux magnifiques môles ferment le lac en ne laissant que les trois ouvertures décrites plus haut.

Le pont du Mont-Blanc, bâti en 1864, traverse le port un peu en-dessus de l'île Rousseau ; il s'appuie à la rive

[1] Mesurée par la comparaison de ce limnimètre avec les limnimètres du lac.

gauche sur un quai faisant saillant, situé à peu près à la place de la jetée de l'ancien port du Commerce, mais rétrécissant cependant un peu plus le passage que ne le faisait l'ancien état des choses.

Des quais magnifiques datant à peu près de la même époque ont assez sensiblement rétréci le passage laissé au fleuve; mais en régularisant les rives du chenal ils ont peut-être en revanche un peu facilité le débit.

Enfin les travaux de dragage faits sur le banc du Travers, de 1849 à 1862, dans le but d'abaisser le banc de sable et de faciliter la navigation, dans le but aussi de gagner du remblai pour combler les nouveaux quais du port, ont sans doute eu de l'influence sur le débit du fleuve, et par conséquent de la pente de la sortie du lac [1].

Sans avoir la prétention de pousser bien profond cette discussion, il me paraît facile d'attribuer à ces différents travaux leur effet sur le débit du fleuve; leur signification doit avoir été la suivante:

Ont facilité le cours du fleuve:

le dragage du banc du Travers;
la régularisation des rives par les quais du port;
l'arrachage des pilotis des anciennes estacades.

Ont entravé le cours du fleuve:

la construction des grandes jetées du port;
le rétrécissement du chenal par les quais;
la construction du pont du Mont-Blanc;
le renforcement du barrage du pont de la Machine;

[1] Je parlerai un peu plus loin de l'érosion naturelle qui a eu lieu à l'entrée du port.

D'une autre part, ont augmenté la pente de la sortie du lac :

la construction des jetées du port;

l'arrachage des pilotis du vieux port, de l'estacade du moins qui était située au-dessous du limnimètre actuel.

Ont diminué la pente du lac :

le dragage du banc du Travers;

l'enlèvement des pilotis de l'estacade supérieure située au-dessus du limnimètre actuel;

la construction du pont du Mont-Blanc;

le renforcement du barrage de la Machine hydraulique.

De ces travaux, celui qui doit avoir eu la plus grande influence sur la pente de la sortie du lac, c'est incontestablement la construction des jetées du port, commencées en 1853 et terminées en 1855. Ces jetées comme nous l'avons dit, en barrant la sortie du lac et en ne laissant au fleuve que trois issues, arrêtent le Rhône et le font refluer au-dessus de leur barrage; le courant très violent qui existe à ces ouvertures, courant variable d'intensité avec la hauteur des eaux, est l'indice certain de cette action. C'est à ces jetées que l'on doit attribuer, dans l'état actuel des choses, la plus grande action sur la pente de la sortie du lac. Or nous voyons précisément une exagération considérable de la pente du lac correspondre avec l'époque de la construction de ces jetées; la pente de la sortie du lac, presque nulle auparavant ou du moins bien moins forte qu'actuellement, devient tout à coup énorme en 1856, et acquiert une importance double de celle que nous constatons actuellement. Cette coïncidence est une

confirmation de l'attribution que nous faisons de la majeure partie de la pente du lac aux jetées du port de Genève.

Quant à la diminution progressive de la pente que je constate dans les trois dernières périodes de nos vingt-cinq années, je crois pouvoir l'attribuer à deux causes : d'une part au renforcement artificiel ou naturel du barrage de fond du pont de la Machine ; d'une autre part à l'érosion du fleuve à l'entrée du port. J'ai déjà traité suffisamment de l'influence du barrage de la Machine ; quant à l'érosion du fond entre les jetées, il est évident que le courant très puissant des eaux de l'été a érodé petit à petit le limon du banc argileux et sablonneux qui barre le lac ; approfondissant le chenal laissé libre entre les jetées, cette érosion a facilité de plus en plus le cours du fleuve, et a par conséquent diminué la pente de la sortie du lac. Cette action d'érosion a dû être très forte dans les premières années qui ont suivi la construction des jetées ; elle doit aller en s'affaiblissant, et l'on peut prévoir qu'on arrivera enfin à un état d'équilibre qui persistera pour aussi longtemps que rien d'extérieur ne viendra le troubler. Sommes-nous déjà arrivés à cet état d'équilibre, c'est ce que des observations ultérieures permettront de constater dans quelques années.

En résumé l'histoire du port de Genève nous fait retrouver dans le passé : avant 1855 une époque dans laquelle la pente de la sortie du lac était probablement moins forte qu'actuellement ; en 1855, un moment où la pente du lac a été subitement et considérablement augmentée par la construction des jetées du port ; depuis cette époque une action d'érosion à l'entrée du port qui facilitant toujours plus le débit du fleuve a dû diminuer

la différence entre les cotes du limnimètre de Genève et celles des limnimètres du lac; tous les travaux de renforcement du barrage de la Machine ont dû avoir le même effet que cette érosion.

Nous avons donc ainsi l'explication et la confirmation des faits que nous a montrés la comparaison des séries limnimétriques de Vevey et de Genève, et nous pouvons admettre que la pente du lac a varié pendant la période de vingt-cinq ans qui nous occupe. Nous avons ainsi l'explication de la différence de $+ 18^{mm}$ que nous avons trouvée pour la valeur d' calculée entre les moyennes générales de Vevey et de Genève. Trouvant ainsi la légitimation de cet écart, nous sommes autorisés, pour déterminer le niveau absolu du lac, à choisir les observations de Vevey de préférence à celles de Genève; celles-ci sont en effet altérées au point de vue du niveau du lac par une pente d'intensité variable et dont la correction ne peut être déterminée d'une manière constante.

Mais avant de faire un choix définitif entre les deux séries d'observations, il nous reste encore un point à critiquer. Nous avons constaté un certain nombre d'observations et de moyennes mensuelles divergentes, des écarts assez nombreux entre les chiffres des deux séries, écarts dus à des erreurs de différentes natures, et que nous ne pouvons pas tous corriger. Ils sont assez nombreux et assez importants, dans les premières années surtout, pour ne pas pouvoir être négligés; il est vrai que ces écarts ne sont pas tous de même signe et qu'ils se neutralisent réciproquement en très grande partie; il est vrai aussi que quelqu'importants qu'ils soient individuellement, ils disparaissent presque absolument dans les moyennes générales.

Cependant je désirerais autant que possible en tenir compte, et si je devais rapporter toutes ces erreurs à la série des observations de Vevey, cela diminuerait sensiblement la confiance que j'aurais en la valeur de celles-ci. Comparons donc au point de vue de leur nature et de leur correction les deux séries d'observations.

Les observations de Vevey sont en général bonnes et régulières. Elles ont toutes été faites avec le même instrument et sont en cela très supérieures à celles de Genève pour lesquelles trois limnimètres différents ont été employés. J'ai eu dernièrement l'occasion d'étudier de près la marche du limnimètre de Vevey pendant que j'observais, plusieurs heures durant, les oscillations des seiches de Vevey pour les comparer à celles de Morges. L'instrument est paresseux et ne suit que lentement les dénivellations du lac ; les secousses de sa marche montrent qu'il est fréquemment accroché, et qu'il est loin d'être assez sensible pour l'étude un peu délicate des ondulations du lac. Mais par cela même qu'il est peu sensible aux oscillations accidentelles, je le crois d'autant meilleur pour les observations du niveau moyen du lac; quelque paresseux que soit un instrument de ce genre, il y a toujours de temps en temps quelque secousse (vague de bateau à vapeur, seiche, etc.) qui le décroche alors qu'il est arrêté, et lui fait prendre le niveau moyen de la journée.

De janvier 1851 à décembre 1853 les lectures ont été faites en pouces suisses, demies et quarts de pouces, mode de notation qui est évidemment insuffisamment exact; depuis l'année 1854, une échelle divisée en lignes a été adaptée à l'instrument et les lectures sont ainsi faites en dixièmes de pouce, soit avec une approximation de trois millimètres.

En suivant les registres d'observations, je n'ai pas vu de grands écarts qui me fassent mettre en doute l'exactitude générale des lectures; depuis mai 1870, les notes sont tenues par l'observateur actuel, M. Schobinger, dont j'ai vérifié pour l'année 1876 la très suffisante correction.

Quant aux observations de Genève, elles ont été faites pendant la période qui nous occupe à trois instruments différents : jusqu'au 31 mai 1862, au limnimètre du Grand quai, limnimètre à flotteur établi en 1837 par le général Dufour; du 1er juin 1862 au 31 décembre 1866, à une échelle graduée fixée au mur de l'île Rousseau; depuis le 1er janvier 1867, au limnimètre à flotteur actuel du Jardin anglais.

L'échelle graduée de l'île Rousseau était soumise à toutes les incorrections de lecture des limnimètres à règle qui dans les temps de vagues ne permettent pas une exactitude de plus de 2, 3, 5 et même 10 centimètres près; mais les erreurs de lecture finissent toujours par se compenser pour les moyennes mensuelles.

Le limnimètre du Jardin anglais, qui n'est autre que l'ancien appareil du Grand quai transporté à sa place actuelle lors de la reconstruction des quais de Genève, est un instrument assez délicat, fonctionnant suffisamment, un peu moins paresseux que celui de Vevey, mais dont la marche saccadée en temps de seiches est l'indice de petits arrêts dans le glissement. Le gros accroc de février 1874 est la preuve que des arrêts trop importants peuvent avoir lieu.

L'équation de ces trois limnimètres a été très soigneusement étudiée par M. E. Plantamour, et les moyennes mensuelles qu'il a publiées donnent les lectures rapportées au limnimètre normal. M. Plantamour a très bien

tenu compte de ce que la position de ces trois limnimètres était notablement différente sur le cours du fleuve, et que la pente était différente de l'un à l'autre pour les différentes hauteurs du lac. Au point de vue de la réduction des lectures, ces observations de Genève sont donc excellentes.

Il résulte de tout cela que d'une manière générale nos deux appareils de Vevey et de Genève sont suffisants, mais que des erreurs sont possibles. Rien dans la revue que nous venons de faire ne nous prouve que ces erreurs soient plus nombreuses et plus importantes du côté des observations de Vevey.

Une comparaison attentive des 17 [1] moyennes de Vevey dont l'écart de d' est supérieur à $\pm$ 100 millimètres avec les observations de Nyon et en partie avec celles de Rolle, ne m'a pas fait découvrir d'erreur grave apparente dans la série de Vevey.

D'une autre part une collation des observations originales de Vevey avec celles de Rolle et de Nyon pendant les années 1851 à 1857 où les erreurs accidentelles sont les plus fortes m'a montré que les lectures de Vevey étaient à cette époque faites régulièrement et avec attention. Je n'ai pas reconnu d'écart sensible dans la marche de ces trois limnimètres.

Ainsi donc en admettant des erreurs probables dans quelques moyennes, je n'ai pas de raison pour attribuer ces erreurs plutôt à Vevey qu'à Genève; je n'ai donc pas dans ces erreurs une raison suffisante pour écarter les observations de Vevey.

[1] Sur ces 17 moyennes aberrantes, 9 doivent être attribuées probablement à des variations de la pente. Il ne nous en reste donc que 8 sur 300 pour lesquelles il y a de grosses erreurs probables.

Ainsi donc je suis autorisé à choisir entre les deux séries d'observations pour calculer le niveau absolu du lac, et comme la série de Vevey est à beaucoup de points de vue préférable, que, en particulier, il n'y a pas à lui apporter de correction de pente comme à celle de Genève, c'est à la série d'observations de Vevey que je m'adresserai pour rechercher le niveau moyen du lac Léman.

Il en résulte que la hauteur moyenne du lac obtenue par la méthode directe, en prenant la moyenne des observations journalières de Vevey, sera pour moi préférable à celle que me donne la méthode indirecte en corrigeant les moyennes des observations de Genève.

Nous admettrons donc comme hauteur moyenne du lac de 1851 à 1875 la cote de $1^{m}.468$.

Mais les observations de Genève remontent davantage dans le passé que celles de Vevey; elles embrassent depuis 1838 une période où nous n'avons pas d'observations utilisables dans le Grand lac. Il convient donc d'étendre les données qu'elles nous offrent pour le port de Genève à la hauteur du lac lui-même. Voici comment je suis arrivé à ce résultat:

	m.
Je cherche ainsi que je l'ai calculé plus haut la moyenne des observations de Genève 1851-1875	1.419
La moyenne 1838-1850 étant	1.388
Différence . . .	0.031

que j'ai à retrancher de la moyenne de 1851-1875 pour obtenir la moyenne de 1838-1850.

Or la hauteur moyenne à Vevey de 1851-1875 étant	1.468
j'en déduirai par une soustraction la moyenne de 1838-1850	1.437

et par une règle de proportion la moyenne de
1838-1875 . . . . . 1m.457

Le chiffre de 1m.457 représentant la moyenne de 38 années sera celui que j'adopterai comme étant la cote du niveau moyen du lac Léman dans le milieu du XIXe siècle.

Ce chiffre est très notablement supérieur à celui qu'avait obtenu M. le colonel Burnier en prenant les moyennes de 1843-1853; il est vrai qu'il n'avait pas pu tenir compte de la pente du lac, le nivellement fédéral des bords du Léman n'ayant été exécuté qu'en 1865. M. Burnier était arrivé au chiffre de 1m.310, différence 0m.147.

Ce chiffre est aussi très notablement supérieur à celui que donne M. Plantamour pour la moyenne de 1838 à 1873. Mais ses calculs se rapportant au port de Genève, il était déjà à présumer qu'il y aurait un écart en plus si l'on étudiait le lac lui-même. Nous avons vu comment l'écart dû à la pente du lac s'était augmenté pendant cette période. M. Plantamour était arrivé au chiffre de 1m.403, différence 0m.054.

§ V. — Des variations du niveau moyen du lac, de 1838 à 1875.

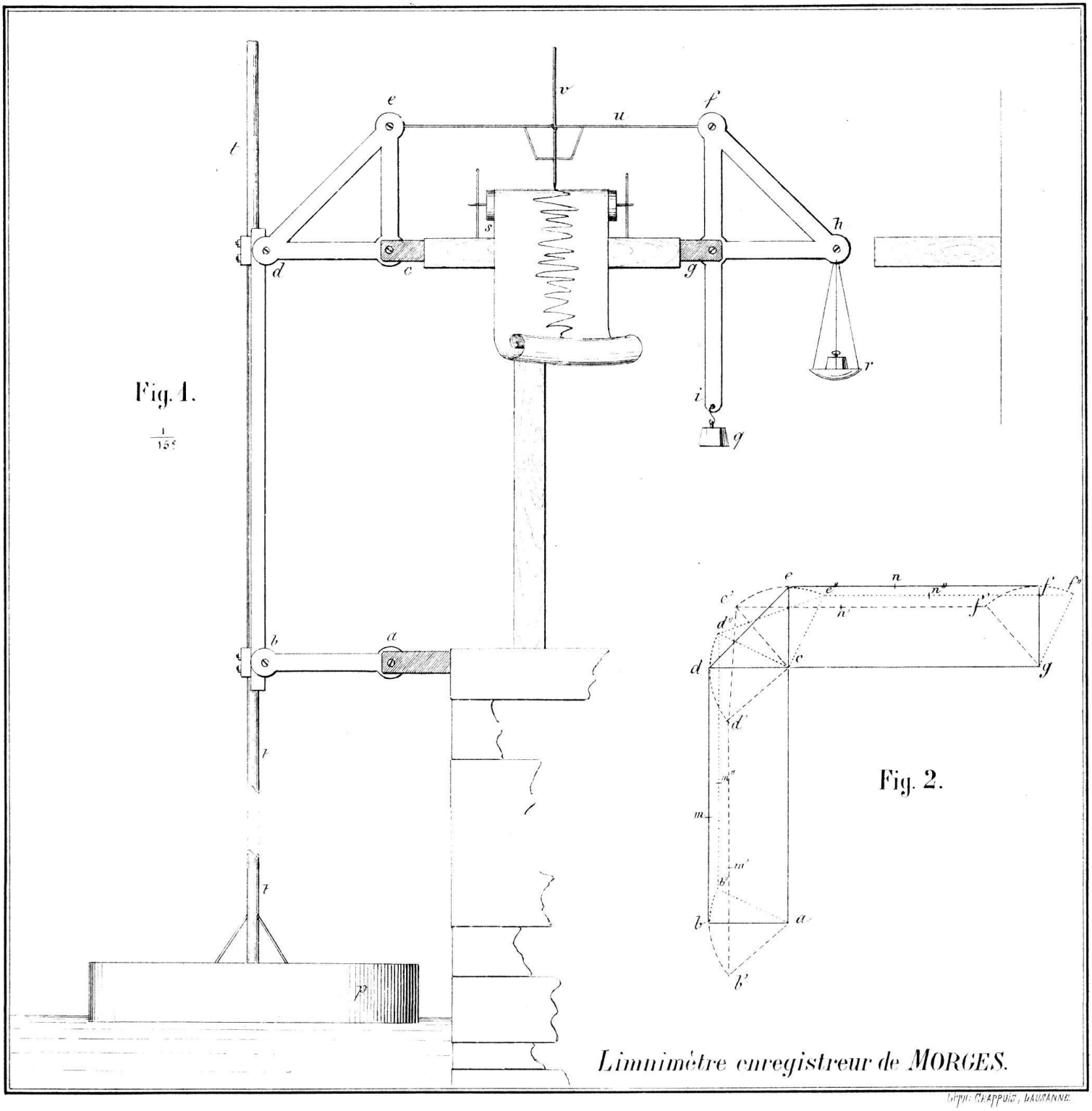
Si je divise en périodes de 5 ans les 38 années, de 1838 à 1875, si réunissant ainsi les moyennes annuelles j'en tire la moyenne quinquennale, et si je compare ces moyennes au niveau moyen de 1m.457 de la pente générale, j'obtiendrai des différences intéressantes.

Pour les années 1838 à 1850 j'ai calculé la hauteur du

lac en apportant aux chiffres de Genève la correction *D* de la pente du lac ; pour les années 1851 à 1876 je me suis servi des observations de Vevey.

	h moyenne.	Différence.
	m.	mm.
1838-1840	1.337	— 120
1841-1845	1.498	+ 41
1846-1850	1.382	— 75
1851-1855	1.345	— 112
1856-1860	1.298	— 159
1861-1865	1.487	+ 30
1866-1870	1.610	+ 153
1871-1875	1.600	+ 143
1876	1.672	+ 215

Le niveau moyen du lac a été sensiblement plus élevé dans les 15 dernières années que dans les 25 années précédentes. Quelle est la cause de cette variation ? Je la rechercherai peut-être plus tard.



Lith. Chappuis, Lausanne.