Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles

Band: 10 (1868-1870)

Heft: 63

Artikel: Comparaison du débit annuel moyen du Rhône à Genève avec la hauteur moyenne annuelle de l'eua météorique

Autor: Forel, F.-A.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-256573

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: 12.01.2026

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

COMPARAISON

du débit annuel moyen du Rhône à Genève

avec la hauteur moyenne annuelle de l'eau météorique.

PAR LE

Dr F.-A. FOREL

professeur agrégé à l'Académie de Lausanne.

(Pl. 26.)

Nous possédons un certain nombre de jaugeages du Rhône faits à Genève, à la sortie du fleuve du lac Léman, par différents observateurs et à différentes époques. Voici la série de ceux qui seront utilisés dans les pages suivantes.

OBSERVATEURS	DATES	LOCALITÉS	Hauteur du lac	Débit pr seconde.
1[1] Chaix	4 mars 1858	Mach. hydraulique	15″ [5]	40 mètres cubes
2[2] Chaix et Plantamour	3 nov. 1856	Coulouvrenière	21″	199 »
3[3] Thury	30 juin et 2 juillet 1858	Coulouvrenière	35″ 38″	269 »
4[2] de la Rive, Colladon et Dufour	24 sept. 1840	Machine	62″	424 »
5[2] Chaix	sept. 1852	Coulouvrenière	74″	532 »
7[4] Vallée et Goux	26 juillet 1841	Coulouvrenière	82″ 6‴	482 »

[1] *A. Favre.* Recherches géologiques, etc. Genève 1867, t. I, p. 14.

[2] *P. Chaix.* Observ. sur le régime de l'Arve et du Rhône. Arch. des sc. phys. et nat.; t. XXXIV, p. 55 sq. Genève 1857.

[3] *Thury.* Sur le jaugeage du Rhône, etc. Bull. Soc. vaud. sc. nat. N° 45, t. VI, p. 220. 1859.

[4] *L.-L. Vallée.* Du Rhône et du lac de Genève, p. 83. Paris 1843.

[5] Les cotes sont indiquées en pouces de France à l'échelle du limnimètre du Grand quai à Genève, dont le zéro est à 2m,775 au-dessous du repère de la Pierre du Niton.

Ces jaugeages ont donné des résultats fort différents ; ils ont été faits à des saisons diverses, et par des hauteurs d'eau fort différentes, correspondant à des variations considérables dans la hauteur des eaux du lac.[6]

Partant du fait que le débit de l'émissaire est en relation directe avec la hauteur des eaux dans le bassin qui lui donne naissance, j'ai comparé dans le tableau ci-joint les différents jaugeages que je viens de citer en prenant pour base la hauteur des eaux du lac le jour où le jaugeage a été opéré. (Planche 26.)

J'ai pris pour valeur des abscisses la hauteur donnée par le limnimètre du grand quai de Genève le jour de l'opération, un millimètre représentant un centimètre de hauteur d'eau.

J'ai pris pour valeur des ordonnées le débit du Rhône en mètres cubes par seconde, 3 millimètres représentant 10 mètres cubes.

J'ai obtenu ainsi la ligne brisée AAA qui se rapproche assez d'une courbe ascendante régulière, pour que j'ai pu admettre pour ces jaugeages une exactitude relative, pour que j'aie osé me fonder sur eux dans le calcul suivant. J'ai cherché à calculer le débit moyen annuel du Rhône à Genève, pour le comparer à la hauteur d'eau moyenne annuelle de l'eau météorique tombée sur toute la surface du bassin du fleuve.

Pour cela j'ai tracé approximativement à côté de la ligne brisée AAA, une courbe régulière BBB, que j'ai supposé exprimer, relativement à la ligne des abscisses, la valeur du débit du Rhône pour les différentes hauteurs du lac Léman. En prenant au compas la valeur de l'ordonnée correspondant à une abscisse quelconque, j'obtiens sur cette courbe la valeur approximative du débit du fleuve, correspondant à la hauteur du lac exprimée par la valeur de l'abscisse.

Portant ensuite sur ce tableau les hauteurs moyenes mensuelles calculées pour une série de 15 années (1838-1853) par le colonel F. Burnier,[7] j'en ai tiré le débit moyen en une seconde pour les différentes hauteurs d'eau moyennes des 12 mois de l'année. J'ai ainsi obtenu la série suivante :

[6] L'on connaît le régime des eaux du lac Léman. Les eaux sont fort basses en hiver et atteignent leur minimum de hauteur en février ou en mars ; elles s'élèvent graduellement au printemps lors de la fonte des neiges basses d'abord, alors surtout que les chaleurs de l'été attaquent et fondent rapidement la masse considérable des glaciers du Valais. C'est au mois de juillet ou d'août qu'a lieu le maximum de hauteur des eaux du lac, maximum qui dans ses moyennes est de $1^m,66$ plus élevé que les moyennes de minimum, qui dans les extrêmes est de $2^m,83$ plus élevé que les extrêmes de minimum.

[7] *F. Burnier*. Sur les limnimètres du lac. Bull. Soc. vaud. sc. nat., t. IV, p. 149.

MOIS	Hauteur moyenne du lac.[8]	Jaugeage moyen par seconde.
Janvier	88 centimètres.	183 mètres cubes.
Février	86 »	180 »
Mars	84 »	170 »
Avril	93 »	200 »
Mai	111 »	250 »
Juin	160 »	370 »
Juillet	202 »	460 »
Août	208 »	473 »
Septembre	179 »	410 »
Octobre	141 »	323 »
Novembre	116 »	260 »
Décembre	101 »	227 »

En multipliant ces débits par seconde des moyennes mensuelles par 86400 (nombre de secondes en 24 heures), puis par le nombre des jours de chaque mois j'ai obtenu pour chaque mois d'une année moyenne le nombre de mètres cubes s'écoulant par le fleuve. Le somme de ces différents produits m'a donné le débit moyen annuel du Rhône à Genève, que j'ai calculé ainsi s'élever à 9,240,566,400 mètres cubes.

Ce chiffre représente la quantité d'eau qui s'écoule de tout le bassin du Rhône dans une année moyenne; il représente ainsi la quantité d'eau météorique tombée dans le bassin dans une année moyenne, moins la quantité d'eau enlevée par l'évaporation ou s'écoulant par d'autres émissaires. (Laissons de côté cette derniére inconnue dont l'existence ou la valeur ne sont indiquées par aucun fait).

Donc en divisant le nombre de mètres cubes s'écoulant annuellement par le Rhône à Genève par le nombre de mètres carrés qui représente la surface totale du bassin du fleuve et de ses affluents (7,995,000,000 mètres carrés[9]), nous obtiendrons la valeur

[8] La hauteur moyenne du lac est exprimée en centimètres de l'échelle de M. Burnier, dont le zéro est à 3 mètres au-dessous du repère de bronze scellé par le général Dufour sur la pierre de Niton à Genève, soit à $0^m,225$ au-dessous du zéro du limnimètre du Grand quai de Genève.

[9] Bericht der hydrometrischen Commission der Schweiz. naturf. Gesellschaft. Verhandlungen in Einsiedeln. 1868, p. 124.

moyenne annuelle de l'eau météorique tombée dans le bassin, moins la quantité enlevée par l'évaporation. Ce calcul donne pour cette hauteur d'eau le chiffre de $1^{m},15$. Ce chiffre est considérable; discutons les données du calcul qui l'a fourni.

Il est basé, d'une part sur les jaugeages du Rhône faits à Genève, d'une autre part sur les hauteurs mensuelles moyennes du lac Léman. Pour ces dernières, elles sont tirées d'observations régulières faites jour par jour pendant 15 ans; nous pouvons en admettre l'exactitude très suffisante.

Quant aux jaugeages du Rhône, par suite des difficultés considérables des opérations, en raison du petit nombre des observations, et vu les causes d'erreur que dans tout calcul de ce genre l'on est obligé de négliger, l'erreur possible est d'assez grande importance. La progression à peu près régulière que montre le tableau tiré des jaugeages faits à Genève prouve cependant pour la plupart d'entr'eux leur exactitude relative. Pour l'un d'eux j'ai pu trouver une preuve d'exactitude assez intéressante.

Le jaugeage de MM. de la Rive, Colladon et Dufour (jaugeage n° 4) du 24 septembre 1840, a été fait à Genève par une hauteur d'eau au limnimètre du grand quai de 62 pouces; il a donné 424 mètres cubes par seconde.

Or un jaugeage fait par le prof. Gay de Lausanne[10], à la porte du Sex au dessus de l'entrée du Rhône dans le lac les 14 et 15 septembre 1863, a été opéré alors que le lac avait une hauteur d'eau moyenne de 61 pouces 10 lignes, c'est-à-dire bien près de 62 pouces. Ces deux jaugeages sont donc comparables entr'eux. Le jaugeage de M. Gay a donné 193 mètre cubes par seconde.

Mais le jour où opérait M. Gay le niveau du lac baissait.

Le 14 sept. 1863 le limnimètre de Genève indiquait 62″, 5‴ soit $1^{m},689$;

Le 15 sept. 1863 le limnimètre de Genève indiquait 61″, 2‴ soit $1^{m},655$.

Le niveau du lac a donc baissé en 24 heures de 34 millimètres.

Or une baisse des eaux du lac indique qu'il sort du lac plus d'eau qu'il n'en entre, de même qu'une hausse indique qu'il entre plus d'eau qu'il n'en sort. La surface du lac étant de 577,8 kilomètres carrés[11], une différence de 1^{mm} dans la hauteur de ses eaux exprime une différence de 577,800 mètres cubes entre le débit de ses affluents et celui de son émissaire. Une baisse de 34^{mm} indique donc que l'émisaire a débité 19,645,200 mètres cubes de plus que les affluents n'en ont amené.

[10] *A. Favre*, loc. cit. p. 15.

[11] Bericht der hydr. Comm., loc. cit. p. 124.

Cette baisse de 34^{mm} a eu lieu les 14 et 15 septembre en 24 heures. En 24 heures d'après le jaugeage de 1840 (424 mètres cubes par seconde) le Rhône a débité à Genève 36,633,600 mètres cubes. D'après le jaugeage de 1863 il a débité à la porte du Sex (à raison de 193 mètres cubes par seconde) 16,675,200 mètres cubes en 24 heures.

Puisque en 1863 il y a eu du 14 au 15 Septembre une baisse du lac de 34^{mm} en 24 heures, correspondant à un excès de 19,645,200 mètres cubes dans la sortie sur l'entrée, il faut ajouter cette valeur au débit du Rhône avant son entrée dans le lac pour avoir la quantité d'eau sortie à Genève alors que le lac était à 62 pouces du limnimètre du grand quai. Nous obtenons ainsi un débit de 36,320,400 mètres cubes en 24 heures, somme qui ne diffère que de 313,200 mètres cubes de la valeur de 36,633,600 mètres cubes que nous avons calculée d'après le jaugeage de 1840 pour le débit du Rhône en 24 heures par une hauteur d'eau de 62 pouces.

313,200 mètres cubes représentent environ $^2/_3$ de millimètre de hauteur d'eau sur la surface du lac. Or les lectures du limnimètre de Genève se font en lignes du pied de roi (2^{mm},2) et ne peuvent donner ainsi de précision que à 1 ou 2 lignes près, ce qui donnerait dans le calcul ci-dessus des différences 4 et 6 fois plus fortes.

La coïncidence très remarquable (en grande partie même fortuite) entre les deux jaugeages faits par des observateurs différents, à 23 ans d'intervalle, dans deux localités différentes, et dans des conditions totalement différentes, prouve donc l'exactitude relative de ces deux jaugeages.

Revenons à notre calcul. Admettons que dans l'établissement de la courbe qui donne la valeur approximative du débit du Rhône pour les différentes hauteurs d'eau du lac, les erreurs en sens contraires se compensant en partie, nous ayons fait une erreur totale de 10 pour cent. Le chiffre qui donne la hauteur d'eau moyenne annuelle tombée dans le bassin (moins la quantité d'eau évaporée) sera limité entre les extrêmes 1^m,05, et 1^m,25.

Ce chiffre, même le chiffre minimum, est très considérable, si nous le comparons avec les données que nous avons sur la hauteur moyenne annuelle de l'eau météorique dans le bassin du Rhône.

La moyenne de 42 années d'observation (1826-1867) a donné pour Genève la hauteur d'eau moyenne de 823^{mm},8. [12]

Les observations météorologiques commencées en Suisse en décembre 1863 nous fournissent pour quelques points du bassin du Rhône les moyennes suivantes[13]:

[12] *Plantamour*. Résumé météorologique de l'année 1867, pour Genève et le St. Bernard. Arch. des sc. phys. et nat. N. P. XXXIII, 121.

[13] *Gautier*. Résultats des observations météorologiques suisses. Archives des sc. phys. et nat. N. P. XXIV 108, XXVIII 292, XXIX 200, XXXIII 228, XXXVII 20.

STATIONS	Altitude.	Nombre d'années d'observation.	Moyenne annuelle.
Vallée du Rhône. St Bernard	2478m	5	1218mm
Simplon	2008	5	842
Græchen	1632	5	564
Zermatt	1620	1	610
Reckingen	1339	3	926
Gliss	688	3	604
Sion	536	4	803
Martigny	498	5	765
Bex	437	4	958
Bassin du lac Léman. Disy	588	3	1057
Montreux	385	5	1263
Morges	380	3	1007
Genève	408	5	790

Ces mêmes séries d'observations nous permettent de tirer pour l'ensemble de ces 13 stations les moyennes annuelles suivantes :

1864	861mm	12 stations.
1865	731	12 »
1866	1090	11 »
1867	1003	8 »
1868	817	8 »

En établissant le rapport de la hauteur d'eau tombée ces mêmes années à Genève avec la moyenne de 42 années que M. Plantamour a calculée pour l'observatoire de Genève, nous pouvons corriger en partie les écarts dus à la plus ou moins grande sécheresse de l'année. Nous obtenons ainsi :

ANNÉES	Hauteur d'eau observée dans les 13 stations.	Hauteur d'eau à Genève.	Hauteur d'eau moyenne du bassin, corrigée d'après la hauteur moyenne de Genève.
1864	861mm	648m,3	1094mm
1865	731	686m,3	877
1866	1090	969m,6	926
1867	1003	963m,6	857
1868	817	682m,8	986

Si nous prenons la moyenne de ces derniers chiffres, nous obtiendrons, dans l'état actuel des observations, la hauteur moyenne de l'eau météorique qui tombe annuellement dans le bassin du Rhône. Cette moyenne est de 948 millimètres.

Cette moyenne est peu élevée. Nous pouvons la comparer à la hauteur d'eau moyenne qu'on peut établir dans ces mêmes années pour l'ensemble des stations météorologiques de la Suisse :

1864	67	stations ont eu pour	hauteur d'eau	moyenne	1088 mm
1865	63	id.	id.	id.	961
1866	66	id.	id.	id.	1197
1867	57	id.	id.	id.	1291
1868	57	id.	id.	id.	1131

La moyenne de ces 5 années pour l'ensemble des stations météorologiques suisses est de 1134 millimètres d'eau météorique, et ce chiffre serait encore augmenté si nous le corrigions comme nous l'avons fait plus haut en nous basant sur le rapport de la valeur annuelle et de la valeur moyenne des observations de Genève. Mais comme nous ne nous occupons ici que du basin du Rhône nous devons nous en tenir au chiffre que nous avons trouvé pour ce bassin et admettre qu il y tombe annuellement en pluie et en neige une hauteur d'eau moyenne de 948 millimètres.

Mais nous devons soustraire de cette hauteur d'eau la quantité qui est enlevée par l'évaporation pour avoir la valeur de l'eau disponible, de l'eau qui peut s'écouler par l'émisssaire du bassin. Or la quantité d'eau que l'évaporation enlève est assez importante. Le prof. L. Dufour[14] a observé à Lausanne pendant 4 années d'expépériences l'évaporation à la surface d'un bassin d'eau de 1965 centimètres carrés; il a trouvé que, dans ces conditions, l'évaporation enlevait en moyenne annuellement une hauteur d'eau de $0^m,669$; il cite d'après divers auteurs pour diverses stations de France et d'Angleterre des observations analogues dont nous tirons une valeur moyenne annuelle de $0^m,709$.

Il est vrai que dans les montagnes où par suite de l'altitude l'air est plus froid et a une capacité de saturation moins considérable, l'évaporation doit avoir une influence moins grande que dans la plaine.

Mais en somme nous ne pouvons qu'être surpris, toutes réserves faites sur le degré d'approximation des calculs qui nous l'ont donné, du chiffre très élevé que nous obtenons pour la valeur de l'eau disponible, de l'eau qui s'écoule par le Rhône à Genève. Cette

[14] *L. Dufour*. La pluie et l'évaporation. Bull. Soc. vaud. sc. nat. N° 62, t. X, p. 243 sq.

quantité est très forte comparée à la quantité de pluie qui tombe en plaine, et même en montagne quand on en soustrait la valeur très importante qu'enlève l'exporation.

M. le prof. Ch. Dufour[15] a proposé pour expliquer cette anomalie de faire intervenir un phénomène très naturel, très probable, mais dont la valeur demande à être déterminée plus exactement. C'est la condensation immédiate de la vapeur d'eau sur les corps froids et spécialement sur les glaciers et les névés. Toutes les fois que l'air est au-dessus de 0°, que par conséquent l'eau qu'il contient est à l'état de vapeur, celle-ci doit se condenser directement sur le glacier, sur le névé, comme le fait la vapeur d'eau dans une de nos chambres alors que la température extérieure refroidit les vitres de l'appartement. Cette action peut être très considérable dans un pays qui, comme le bassin du Rhône, est très riche en glaciers, dans un bassin dont plus de $^1/_8$ est couvert par des névés et des glaciers. Cette action mérite d'être étudiée et nous espérons pouvoir revenir plus tard sur ce sujet.

Ajoutons encore la quantité d'eau qui se dépose directement sur le sol de nos prairies à l'état de rosée et sur nos forêts à l'état de givre, et nous aurons peut-être suffisamment d'eau disponible pour, l'additionnant à l'eau qui tombe directement en pluie ou en neige, compenser assez la valeur de l'évaporation et nous expliquer l'anomalie apparente qui nous arrête.

Quoi qu'il en soit, en faisant des réserves très explicites sur la valeur de mes approximations, je conclurai en disant que d'après les jaugeages jusqu'à présent connus du Rhône à Genève, et d'après les moyennes mensuelles de la hauteur du lac Léman, la quantité d'eau météorique qui résiste à l'évaporation et s'écoule par le Rhône à Genève, représente annuellement une hauteur d'eau de $1^m,15$ sur toute la surface du bassin.

Et s'il m'est permis de hasarder un vœu, et pour justifier la témérité que j'ai de publier des calculs aussi aventureux, je demanderai que l'on répète, si possible et là où cela est praticable, des calculs analogues, espérant qu'on arrivera à la confirmation ou à la réfutation positives des chiffres que je viens d'indiquer.

[15] Soc. vaud. sc. nat. Séance du 16 mars 1870.

PS. M. le prof. Ch. Dufour veut bien me communiquer ses notes sur deux observations qu'il a faites pour prouver la condensation directe de l'humidité de l'air sur la neige.

« Le 5 mars 1870, à 2 $^1/_2$ heures après midi. J'ai rempli de neige un plat circulaire de 20 centimètres de diamètre, et le pesant avec la neige qu'il contenait, je lui ai trouvé un poids de 711 grammes. Au bout d'une heure d'exposition en plein air, la neige était en grande partie fondue et la balance m'a donné un poids de 714 grammes, accusant ainsi une augmentation de poids de 3 grammes.

» Un second vase circulaire de 18 centimètres de diamètre, rempli d'un mélange de neige et de sel, a été exposé en plein air pendant le même temps et dans les mêmes conditions; il pesait au commencement de l'expérience 672 grammes, à la fin de l'opération 677 grammes. Il s'était donc condensé à la surface de la neige 5 grammes d'eau.

» Pour connaître l'humidité de l'air, j'ai fait les observations psychrométriques suivantes :

» A 2 $^1/_2$ h.,	le thermomètre sec indiquait	10° 8
	le thermomètre humide indiquait	8°,0
	l'humidité absolue était donc de	6^{mm},41
	l'humidité relative de	0,66

l'air aurait été saturé d'humidité s'il avait été à la température de 4°,4.

» A la fin de l'expérience, à 3 $^1/_2$ heures,

le thermomètre sec indiquait	9°,8
le thermomètre humide indiquait	7°,4
l'humidité absolue était de	6^{mm},32
l'humidité relative de	0,70

l'air aurait été saturé d'humidité à la température de 4°,3.

» Pendant ces expériences, l'air était à peu près calme.

» CH. DUFOUR. »

Je joindrai à ces observations le relevé d'une expérience que j'ai faite moi-même dans des conditions à peu près analogues.

Le 18 mars 1870, à 9 heures du matin.

Je remplis de glace de rivière un vase circulaire en ferblanc, de 10 centimètres de diamètre, pesant 116 grammes. Plein de glace, il pèse 336 grammes; le poids de la glace que j'y ai mise est donc de 220 grammes.

J'expose ce vase à l'air libre et le pesant de nouveau à 11 heures 45 minutes, je trouve une augmentation de poids de 1,6 gramme.

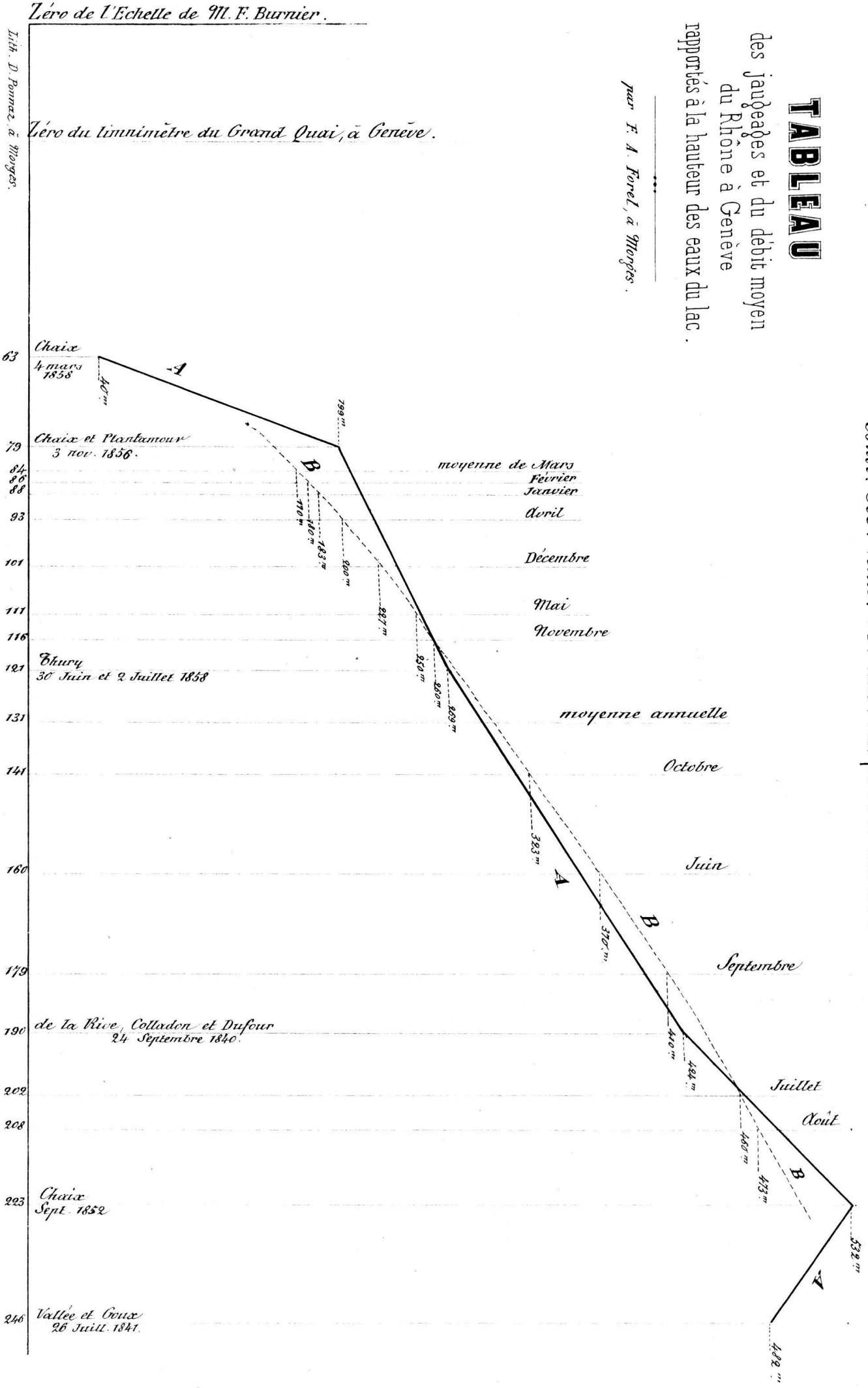
La surface du vase étant de 78 centimètres carrés, il s'est donc déposé à la surface de la glace, en 3 heures de temps, une hauteur d'eau de $0^{mm},2$.

Pendant l'expérience, la pluie n'a cessé de tomber (le vase était protégé contre la pluie) et une brume légère montrait que l'air était saturé d'humidité.

J'ai répété cinq fois cette expérience dans des conditions plus ou moins différentes et ai toujours trouvé une augmentation plus ou moins forte du poids de la glace.

Il résulte de ces expériences que, dans les conditions où M. Ch. Dufour et moi avons opéré, la quantité de vapeur d'eau qui se condense directement sur la neige et la glace fondantes est assez forte, non seulement pour compenser la quantité d'eau enlevée par l'évaporation, mais même pour la surpasser notablement. Ces expériences seront continuées et répétées.

TABLEAU

des Jaugeages et du débit moyen du Rhône à Genève rapportés à la hauteur des eaux du lac.

par F. A. Forel, à Morges.