

Zeitschrift: Bulletin de la Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Herausgeber: Société Vaudoise des Sciences Naturelles
Band: 17 (1880-1881)
Heft: 85

Artikel: Contributions à l'étude de la limnimétrie du Lac Léman. Part 5
Autor: Forel, F.-A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-259355>

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: 06.01.2026

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

CONTRIBUTIONS

A L'ÉTUDE DE LA

LIMNIMÉTRIE DU LAC LÉMAN

par le **D^r F.-A. FOREL**

professeur à l'Académie de Lausanne.

Ve SÉRIE ¹

§ XXVI. — Le procès du Léman.

Depuis plus de 150 ans les riverains du Léman se plaignent des inondations qui, à dates plus ou moins rapprochées, causent des dommages à leurs propriétés et ils élèvent réclamations sur réclamations contre les digues artificielles établies à Genève, sur le Rhône, à la sortie du lac. Depuis le 18 juillet 1878 la question, jusqu'alors discutée et traitée par voie administrative entre les divers Etats intéressés, est entrée dans le domaine judiciaire par suite d'une demande portée devant le Tribunal fédéral suisse par l'Etat de Vaud, contre l'Etat de Genève; il en est résulté une série de documents officiels, rapports, demande, réponse, réplique, duplique, etc., qui ont exposé les points de vue des deux Etats en procès. A côté de ces pièces officielles, appartenant à la procédure, un certain nombre de mémoires et articles de journaux ont été publiés récemment par divers naturalistes des deux cantons; chacun

¹ Voir la I^{re} série, §§ I - V, Bull. XIV, p. 589-652.

II^e » §§ VI - XVII, Bull. XV, p. 129-174.

III^e » §§ XVIII - XXI, Bull. XV, p. 305-332.

IV^e » §§ XXII - XXV, Bull. XVI, p. 641 - 654.

a cherché à élucider la question et à apporter la lumière sur les problèmes, trop souvent encore obscurs, soulevés par ce litige.

Qu'il me soit permis d'exposer aussi la manière dont je comprends l'affaire; aussi bien cette question rentre-t-elle par bien des côtés dans le champ de ces Etudes limnimétriques.

Avant tout il est un point général que je désire établir.

Dans la discussion actuellement pendante, il a été très vivement reproché par les naturalistes genevois, à leurs adversaires vaudois, les préjugés et les parti-pris que ceux-ci auraient apportés dans la question : légende, opinions préconçues, préjugés invétérés, tels sont les mots qui reviennent trop souvent à notre adresse, et ces imputations ont pris, et cela sous des plumes fort considérables, des proportions telles qu'elles méritent d'être examinées attentivement.

Avons-nous — je parle ici comme Vaudois, et je me reconnais coupable de tous nos vices nationaux — avons-nous des préjugés et des opinions préconçues sur la question du Léman? La réflexion me montre que cela est probable, et voici le raisonnement qui me le fait craindre.

Il est évident que, de Vaudois à Genevois, nous voyons les mêmes faits de deux manières absolument différentes; avec la même bonne foi, avec le même désir de trouver la vérité, les mêmes faits, les mêmes chiffres nous amènent à des résultats diamétralement opposés. Selon que nous sommes nés ou que nous avons été élevés au-dessus ou au-dessous du barrage de Genève, nous voyons blanc ce qui est noir pour les autres, nous voyons grand ce qui est petit pour les autres. Ces différences de point de vue proviennent d'une influence de milieu, car nous constatons que les Vaudois élevés à Genève soutiennent les opinions genevoises, tandis que les Genevois établis dans le canton de Vaud défendent les thèses vaudoises. C'est un fait humiliant pour la dignité de notre intelligence dont nous sommes si fiers, mais il est incontestable que le milieu dans lequel nous sommes nés, les discus-

sions que nous avons entendues dès notre enfance, les arguments qui ont été répétés cent fois devant nous, ont pénétré dans le plus profond de notre intelligence, s'y sont imprimés d'une manière ineffaçable et troublent et obscurcissent la liberté de notre entendement.

Autre raisonnement qui m'amène à la même conclusion. Pour ce qui me regarde, il me semble voir dans certains points de vue soutenus à Genève, de telles étrangetés, des interprétations tellement singulières de faits qui me semblent évidents, que, à première réflexion, je crois y trouver les traces d'opinions préconçues et de préjugés; mais quand je vois le même jugement porté à notre égard par nos contradicteurs, j'arrive à la conviction que les uns et les autres, Vaudois comme Genevois, et Genevois comme Vaudois, nous sommes sous le coup, chacun de notre côté, de cette influence délétère de préjugés nationaux, d'opinions préconçues à action séculaire, qui nous rendent inhabiles les uns et les autres à juger d'une manière décisive la question. Nous ne savons faire que des plaidoyers; le jugement impartial et désintéressé doit être rendu par d'autres.

Mais si ce triste raisonnement est juste, j'en conclus qu'il y a lieu de cesser de nous reprocher mutuellement cette infirmité humiliante et que, sans nous répéter d'un bord à l'autre ces imputations, malheureusement peut-être trop vraies, nous devons chercher à nous dégager de cette faiblesse et à reconquérir, chacun pour ce qui nous concerne, la liberté et l'intégrité de notre jugement.

Il y a lieu dans la question du Procès du Léman, de considérer deux points de vue très distincts qui ne doivent pas être confondus, le point de vue historique et le point de vue actuel.

La question au point de vue historique se pose ainsi : Y a-t-il eu dans les siècles derniers des changements dans la hauteur du lac? Ces changements ont-ils été causés par des modifications artificielles apportées par Genève à l'état des débouchés du lac?

La question au point de vue actuel se pose ainsi : Le régime actuel de la hauteur du lac est-il bon? Tient-il suffisamment compte des divers intérêts généraux qui sont en présence? Si ce régime est mauvais comment le corriger?

Ces deux points de vue de la question sont très différents et demandent à être nettement séparés. C'est pour avoir trop facilement passé de l'un à l'autre, pour avoir confondu dans une même argumentation deux problèmes absolument distincts, que plusieurs mémoires sur ce sujet, au lieu d'éclairer la discussion, ont plutôt amené des malentendus et des erreurs.

Je chercherai à ne pas tomber dans ce piège et à bien distinguer la question historique et la question actuelle.

§ XXVII. — Le procès du Léman au point de vue historique.

Y a-t-il eu dans les siècles derniers des changements dans le régime de la hauteur du lac? Ces changements ont-ils été causés par des modifications artificielles apportées par Genève à l'état des débouchés du lac dans le Rhône?

Avant d'aborder directement la question, il y a lieu de préciser la grandeur des faits à étudier, l'échelle dont nous devons nous servir.

Les changements de hauteur du lac que nous recherchons, sont de petite valeur, et ils sont masqués par des variations bien plus considérables qui en rendent la détermination fort difficile. De même qu'il faut beaucoup d'attention, des instruments appropriés et des méthodes convenables, pour reconnaître sur le lac les seiches, dont le mouvement prolongé et peu accentué disparaît à l'œil sous l'agitation rapide et brusque des vagues du vent, de même, et dans des conditions encore bien plus défavorables, les variations très faibles qui peuvent être causées par les modifications de l'émissaire, disparaissent sous l'amplitude beaucoup plus considérable des variations annuelles, estivales, etc. Nous verrons que c'est

par centimètres que doivent s'évaluer les variations que nous recherchons, et que leur développement se porte sur des séries d'années, ou même des siècles; elles échappent à l'œil inattentif ou prévenu, au milieu des variations périodiques estivales dont l'amplitude dépasse 1.50 à 2 m. ou des variations d'une année à l'autre dont la valeur peut atteindre 1 m.

Du reste, si les changements de niveau en question étaient plus considérables, s'ils se mesuraient par mètres, ils seraient apparents et évidents, et il n'y aurait pas discussion.

Mais, dira-t-on, si ces changements de hauteur sont si faibles, s'ils se mesurent par centimètres ou par décimètres au plus, pourquoi s'en préoccuper? Les riverains du lac Léman sont familiarisés avec des variations bien plus importantes; les vagues du vent mesurent jusqu'à 1.50 m. de hauteur, les seiches ont dépassé à Genève 1.83 m., la crue de l'été élève le lac de 2 m. au-dessus des basses eaux de l'hiver; et ils viennent se plaindre de variations de quelques centimètres! — A cela je répondrai par les faits d'expérience. Ce dont nous nous plaignons, ce sont des inondations; or en temps d'inondation un centimètre d'eau est énorme. Un centimètre d'eau de plus fait entrer le lac dans des vingtaines de caves jusqu'alors à sec, il fait pénétrer l'eau dans les fondations et les murs de vingtaines de maisons dans nos villes riveraines; il couvre des centaines d'ares de terrain jusqu'alors à fleur d'eau; il remplace par des ajoncs et des plantes de marécages les herbes fourragères d'hectares de prés; il fait périr des centaines d'arbres qui auraient résisté si l'eau était restée d'un centimètre moins haute, ou avait humecté le sol pendant un jour de moins. L'expérience des dix dernières années nous a appris ce qu'est un centimètre d'eau en temps d'inondation et c'est sous le coup de cette expérience que nous justifions la nécessité d'employer, dans le procès qui nous occupe, le centimètre et non le mètre comme échelle des grandeurs¹.

¹ Cette détermination de l'échelle des grandeurs n'est pas une dissertation purement oiseuse. Je me suis entendu plusieurs fois reprocher une phrase imprimée il y a dix ans dans mon *Essai de chronologie archéolo-*

Peut-on constater, d'après les documents que nous possédons sur le lac, des changements dans la hauteur des eaux ? Quels sont ces changements ?

Les documents que nous pouvons utiliser sont de deux sortes : les uns sont les observations limnimétriques ; les autres sont tirés de certains faits naturels ou artificiels relatés par les historiens ou observables aujourd'hui. Occupons-nous d'abord de ces derniers.

Parmi les observations très nombreuses qui ont été citées pour soutenir ou pour combattre l'idée de variations de hauteur du lac, je n'en utiliserai que deux qui seules me semblent se prêter à des mesures précises. Ce sont :

1° La position des villes riveraines. L'on sait que dans les dernières années les parties basses de Villeneuve, Vevey, Lutry, Morges, St-Prex, etc., ont eu à souffrir des inondations ; l'eau

gigue (Bull. Soc. vaud. sc. nat. X, 573). En étudiant la profondeur de l'eau dans les stations lacustres du lac Léman, en me fondant, d'une part, sur les probabilités de l'établissement des palafittes par une profondeur d'eau telle que l'on ne pût y arriver qu'à la nage, et d'autre part, sur la longueur possible des troncs d'arbre employés comme pilotis, j'arrivais à cette conclusion : depuis l'époque de nos plus anciennes stations lacustres, le niveau du lac Léman a été constant. L'on y a vu une contradiction avec les discussions que j'ai pu soutenir sur les changements actuels, en particulier sur ceux qui sont à la base du procès du Léman.

Ceux qui me cherchent cette querelle ne font pas la distinction de l'échelle de grandeur dont il y a lieu de se servir. Dans mon Essai de chronologie, je traitais une question de géologie ; je cherchais si comparativement aux anciens niveaux géologiques, accusés par des terrasses lacustres élevées de 30 mètres au-dessus du lac actuel et que je rapportais à l'époque paléolithique ou âge du renne, l'époque néolithique ou âge du cerf, période des palafittes lacustres, avait montré des variations importantes dans les conditions orographiques et géographiques de la vallée ; je prouvais que le climat de l'époque lacustre, la faune, la flore, et aussi le niveau du lac étaient déjà les mêmes que de nos jours. Si j'avais pu soupçonner la confusion qui serait faite plus tard à ce sujet, j'aurais ajouté : le niveau du lac a été constant à un mètre, ou deux mètres, ou trois mètres près.

Aujourd'hui dans le procès du Léman il ne s'agit pas d'approximation d'un mètre, mais de variations de décimètres ou de centimètres. L'échelle des grandeurs étant différente, il n'y a pas opposition entre l'opinion que je soutenais autrefois et que je maintiens aujourd'hui, et la discussion qui va faire le sujet des présents paragraphes.

du lac a pénétré dans les caves, humecté les murs et rendu insalubres nombre d'habitations. A quelle hauteur du lac a commencé cet état d'inondation? Sans parler des cas exceptionnels où un propriétaire imprudent, ignorant l'expérience passée et négligeant les règles du bon sens, a creusé trop profondément ses caves, on peut dire d'une manière générale que ces rues basses commencent à être inondées lorsque le lac est à la cote 2.50 ou 2.60 m. Quand le vent souffle du large, et que les vagues, venant battre la grève, font monter de 5 à 10 centimètres l'eau dans le sol, la limite de l'état d'inondation est abaissée à 2.40 ou 2.50 m. Disons que l'état dangereux commence à la cote 2.40 m. et l'état d'inondation à la cote 2.50 ou 2.60 m.

L'on peut de ce fait admettre comme probable, que lors de la construction de ces rues et villes; les hautes eaux dépassant 2.50 et 2.60 m. étaient chose non-seulement rare mais tout à fait exceptionnelle. Pour qui connaît en effet les ennuis, les inconvénients, les dangers de l'état d'inondation des caves et rez-de-chaussée, tel que nous l'avons expérimenté trop souvent dans les dix dernières années, il est évident que ce n'est pas volontairement qu'un propriétaire s'y est exposé lors de la construction de sa maison. Or comme une ville ou une rue ne se bâtit pas en une année, mais successivement et progressivement, j'estime que l'on peut tirer de la position de ces caves une inférence assez probable — je ne dis pas indiscutable ni incontestable, on a trop abusé de ces mots, — que, à l'époque de la construction des rues et des villes basses¹, les hautes eaux du lac n'atteignaient que très rarement la cote² ZL + 2.50 m.

¹ L'on peut tirer de certaines constructions fort anciennes des chiffres notablement inférieurs à ceux que je donne ici. Mais je tiens à ne pas forcer la note, et à rester plutôt en-deçà qu'au-delà de la vérité; ma démonstration n'en aura que plus de force.

² Avec M. L. Gonin (Réplique de l'Etat de Vaud), je désignerai par ZL le plan de comparaison limnimétrique de Burnier, passant à 3 m. au-dessous du repère de bronze de la Pierre du Niton; c'est ce même plan qui est à la base de toutes mes études limnimétriques et de celles de M. E. Plantamour, de Genève.

2° Des bancs de molasse apparaissent en plusieurs points sur la grève du lac ¹; là où cette pierre est de qualité suffisante, elle a été exploitée, et des carrières ont été ouvertes jusqu'à l'extrême limite des basses eaux, ainsi que le décrivait Addison en 1700. « Quand les eaux sont basses, on fait près du bord une petite place carrée, enclose de quatre murailles; dans cette place on creuse un puits et on mine la pierre de taille; les murailles empêchent les eaux de venir sur les ouvriers lorsque le lac s'élève et court de tous les côtés ². »

Nous connaissons trois localités où de semblables carrières sont visibles sous les eaux du lac, et en mesurant aujourd'hui la profondeur de l'eau au point le plus avancé des bords de la chambre d'exploitation, nous pouvons en déduire la hauteur approximative de l'eau au moment où l'opération a été commencée. Voici les chiffres que nous obtenons ainsi dans deux de ces carrières :

Carrière de Pully ZL + 0.37 m. ³

» de Fraidaigues ZL — 0.3 m.

D'après cela, à des époques inconnues que nous pouvons rapprocher de l'an 1700, les basses eaux du lac sont descendues aux cotes 0.37 m. et — 0.3 m. de notre échelle limnimétrique.

§ XXVIII. — Critique des documents limnimétriques appartenant à l'histoire ancienne du Léman.

La planche IV de la réponse de l'Etat de Genève ⁴ représente d'une manière graphique les hauteurs des maximums

¹ Voir le mémoire de *Macaire Prinsep*. Notice sur les travaux entrepris sur le niveau du lac de Genève. Mém. Soc. phys. Genève V, p. 64. 1824.

² *Addison*. Voyage en Suisse et en Italie. Londres 1721, I, p. 161.

³ Mesuré par M. Fl. Robert.

⁴ Niveau des eaux du Léman. Réponse de l'Etat de Genève à la demande de l'Etat de Vaud. Genève 1880.

annuels du lac mesurés dans le port de Genève de 1787 à 1879 et nous pouvons en tirer les valeurs sur lesquelles se base l'argumentation des avocats genevois. A la page 138 du même mémoire est une explication suffisante de ce tableau. Je me permettrai de le soumettre à quelques critiques et je justifierai en même temps le tableau que je crois pouvoir offrir des hauteurs du lac.

Le tableau de la Réponse de Genève est basé :

1° De 1787 à 1791 sur les observations faites à l'échelle limnimétrique du Port-au-Bois de Genève.

2° De 1792 à 1805 sur les observations de Mestrezat faites à l'échelle du Creux-de-Plan, à Vevey.

3° De 1806 à 1837 sur les observations faites au limnimètre à flotteur de la machine hydraulique de Genève.

4° De 1838 à 1862 sur les observations faites au limnimètre à flotteur du Grand-Quai de Genève.

5° De 1862 à 1864 sur les observations faites à une échelle fixée à l'Ile-Rousseau, à Genève.

6° De 1864 à 1879 sur les observations faites au limnimètre à flotteur du Jardin-Anglais de Genève.

Ces six séries d'observations dont les lectures ont été faites à Vevey dans le Grand-lac, ou dans le Port-de-Genève à différentes hauteurs, ont été repérées à diverses reprises et coordonnées de différentes manières.

1° Les observations de 1787 à 1791 faites à une échelle non repérée, située au Port-au-Bois de Genève, ont été rapportées aux niveaux connus par le général Dufour d'une manière que j'estime tout à fait insuffisante ¹. Il a comparé la moyenne des minimums d'hiver de cette période avec la plus forte moyenne qu'il ait trouvée dans les minimums de quatre séries de dix

¹ *G.-H. Dufour*. Mémoire sur les hautes eaux du lac Léman. Bibl. univ. N. S. 329. Genève 1844.

années prises dans les observations ultérieures, puis la moyenne des plus hautes eaux d'été de 1787 à 1791 avec la série la plus élevée des maximums de ses séries de dix ans. Il en a tiré l'équation du limnimètre du Port-au-Bois. L'insuffisance d'un pareil procédé est évidente et je crois qu'au point de vue qui nous occupe cette série de maximums de 1787 à 1791 n'est point coordonnée du tout et ne peut entrer dans le tableau.

2^o De 1780 à 1782 et de 1792 à 1825 nous avons les observations du colonel Mestrezat qui nous donnent les maximums des hautes eaux de chaque année mesurées à l'échelle du Creux-de-Plan à Vevey. Ces cotes ont été repérées par le général Dufour en utilisant les observations parallèles faites de 1806 à 1825 au limnimètre de la machine hydraulique de Genève ¹. Pour cela il a commencé par rapporter les lectures de la machine hydraulique à celles du limnimètre du Grand-quai en leur faisant subir une correction constante de — 20 pouces ² de Paris; puis il a tiré l'équation de l'échelle Mestrezat rapportée au limnimètre du Grand-quai de Genève. En connaissant l'équation de ce dernier limnimètre on arrive à trouver pour l'échelle Mestrezat l'équation ³ $ZL + 0.368$ m.

3^o De 1806 à 1837 nous avons les observations du limnimètre à flotteur de la machine hydraulique repérées comme je viens de le dire par le général Dufour; une correction uniforme de — 20 pouces a transformé dans son tableau de 1844 les cotes de ce limnimètre en valeurs du limnimètre du Grand-quai.

¹ *G.-H. Dufour. Mémoire de 1844.*

² Cette coordination a été faite en utilisant d'une part les chiffres d'un nivellement direct, d'une autre part, les observations parallèles d'une huitaine d'années, 1835 (1837) à 1843.

³ Il y a deux manières d'indiquer la position d'un limnimètre par rapport au plan de comparaison; ou bien l'on donne la hauteur du zéro de l'échelle par rapport au zéro absolu, $ZL + 0.368$ m.; ou bien l'on donne la correction constante à apporter aux lectures faites au limnimètre pour les transformer en cotes absolues, $C = + 0.368$ m.

Dans la Réponse de l'Etat de Genève les maximums donnés sont tirés jusqu'en 1805 des observations Mestrezat, de 1806 à 1837 des observations de la machine hydraulique.

Le colonel Fr. Burnier, dans son mémoire de 1854¹, avait admis la coordination du général Dufour et il s'est borné pour le tableau qu'il a donné des valeurs du lac jusqu'en 1853, d'y apporter la correction nécessaire, le zéro qu'il a choisi et qui a depuis lors été généralement adopté, étant à 3 m. au-dessous du repère de la Pierre du Niton. Mais les auteurs de la Réponse de Genève ont cru devoir y ajouter une nouvelle correction pour transformer les valeurs du limnimètre du Grand-Quai en celles du limnimètre du Jardin-Anglais qui leur servent de base actuelle. Examinons ce point de plus près.

Pour coordonner les anciennes mesures observées successivement au Grand-Quai et au Jardin-Anglais, M. E. Plantamour a fait une comparaison indirecte de ces deux limnimètres². Ne pouvant pas les observer simultanément, il a été obligé de suivre la marche assez compliquée que je résume : comparer d'abord le limnimètre du Grand-Quai à deux échelles établies, l'une sur la jetée de gauche du nouveau port, l'autre près du bateau des lavandières en amont de la machine hydraulique ; puis comparer les lectures de ces deux échelles provisoires avec celle d'une échelle fixée au mur S.-E. de l'île Rousseau ; conclure de ces comparaisons que cette échelle était à peu près conforme dans ses indications au limnimètre du Grand-Quai, ces deux limnimètres étant, du reste, à peu près situés à la même hauteur dans le courant du Rhône ; enfin comparer les lectures faites au Jardin-Anglais et à l'île Rousseau pour en tirer la pente variable avec la saison qui existait de 1864 à 1867 entre les deux appareils limnimétri-

¹ *Fr. Burnier*. Sur les limnimètres du lac Léman. Bull. Soc. vaud. sc. nat., IV, 149.

² *E. Plantamour*. Notice sur la hauteur des eaux du lac. Genève 1874, p. 7.

ques. Cette pente est une valeur positive à ajouter aux lectures du Grand-Quai pour les rapporter à celles du Jardin-Anglais.

La Réponse de Genève prend une valeur de 85^{mm} (moyenne des corrections de juillet et d'août déterminées par M. Plantamour) et en majorise les coordinations du général Dufour; sans s'inquiéter si, il y a cent ans, la pente était la même dans cette partie du port qu'en 1864-1867, on ajoute indistinctement 85^{mm} aux anciennes observations de Creux-de-Plan, de la machine hydraulique et du Grand-Quai. De cette manière le zéro du limnimètre de Mestrezat est porté par la Réponse à la cote ZL + 0.453 m.

Ainsi donc pour établir les anciens maximums du lac (dans le port de Genève) de 1792 à 1806 et 1837, voici les opérations coordonnées que nous propose la Réponse de Genève :

Faire le parallèle entre :

L'échelle de Creux-de-Plan et le limnimètre de la machine hydraulique.

Le limnimètre de la machine et le limnimètre du Grand-Quai.

Le limnimètre du Grand-Quai et les échelles de la jetée et du bateau de lavandières.

Les échelles de la jetée et du

bateau des lavandières. . et l'échelle de l'île Rousseau.

L'échelle de l'île Rousseau et le limnimètre du Jardin-Anglais.

Et encore ne serons-nous pas dans le lac, mais dans le port de Genève, et pour avoir la hauteur du lac nous devons encore faire un parallèle entre le limnimètre du Jardin-Anglais et ceux du lac, et discuter si une correction doit être apportée de ce chef aux anciennes mesures.

Or, tous ces parallèles se rapportent à des points différents du lac, du port de Genève et du Rhône, à des époques différentes; des constructions importantes ont été établies dans le port, d'autres ont été supprimées; les conditions de la pente ont certainement changé d'une période à l'autre.

Il nous est donc permis d'émettre de très sérieux points de réserve sur une coordination aussi compliquée d'observations aussi lointaines ¹.

4^o Dans le tableau de la Réponse de l'Etat de Genève viennent ensuite les observations faites dans le port de Genève de 1838 à 1879 et coordonnées par M. E. Plantamour, d'après les principes exposés dans sa Notice sur la hauteur des eaux du lac ². Au sujet de l'utilisation de ces observations ainsi coordonnées, dans la Réponse de l'Etat de Genève, j'ai deux remarques à faire.

a. Les valeurs limnimétriques du port de Genève ne donnent pas la hauteur de l'eau dans le lac, comme cela a été développé par M. E. Plantamour ³ et par moi-même ⁴; il y a lieu, depuis la construction des jetées actuelles du port de Genève, pour transformer les observations limnimétriques du port de Genève en cotes de la hauteur du lac, d'y apporter une correction variable avec la hauteur du lac et l'état des barrages mobiles, depuis + 10 à + 93^{mm}.

b. Pour comparer les observations faites aux deux limnimètres du Grand-Quai et du Jardin-Anglais, M. E. Plantamour a apporté aux premières une correction, variable avec le mois de l'année, de 32 à 88^{mm}, en moyenne 65^{mm}, exprimant la pente entre ces deux localités telle qu'elle existait de 1864 à 1867. Or il résulte d'observations que je développerai plus loin, que vers 1850 la pente moyenne entre Morges et le Grand-Quai de Genève n'était que de 25^{mm}. Il y a donc eu probablement des modifications importantes dans la pente de la sortie du lac, entre 1850 et 1864, et il faut en conclure que les cor-

¹ Depuis que ces lignes ont été écrites, je trouve dans la Duplique de l'Etat de Genève, p. 83 sq., une note de M. E. Plantamour qui émet d'une manière plus serrée encore que moi des doutes sur la valeur de la coordination faite par le général Dufour des observations antérieures à 1838.

² Genève, 1874. Mém. Soc. phys. Genève, t. XXIII.

³ *E. Plantamour*. Notice, etc., p. 34. Remarques sur le rapport Pestalozzi et Legler, p. 9 sq. Genève 1880.

⁴ V. § II, 1^{re} série de ces Etudes limnimétriques.

rections de pente, valables en 1864-1867, ne peuvent pas être légitimement apportées aux observations antérieures aux grandes constructions du port de Genève.

J'estime donc que d'un bout à l'autre le tableau donné par la Réponse de l'Etat de Genève n'exprime pas d'une manière sûre et exacte la série des maximums de hauteur du lac, et qu'il y a lieu de le soumettre à une révision complète; que probablement il y a lieu d'abaisser les valeurs des maximums du commencement de la série, une majoration abusive y ayant été introduite, et de relever les maximums de la fin de la série, une forte correction de la pente de la sortie du lac devant y être appliquée depuis la construction du nouveau port; j'estime enfin que pour avoir un peu de sûreté dans les résultats, il y a lieu d'utiliser autant que possible les observations faites dans le lac lui-même et non dans le port de Genève.

C'est ce que je vais essayer de faire.

Les plus anciennes observations limnimétriques connues sur le lac Léman ont été faites par le colonel Mestrezat de 1780 à 1825 dans sa propriété du Creux-de-Plan, près de Vevey; une échelle en marbre noir, graduée en pieds et pouces de Berne, avait été scellée dans le mur en 1779, le zéro étant établi à la cote des basses eaux de 1779. Une inscription latine sur une plaque de marbre fut placée dans le mur, en 1793; on y lit entr'autres :

CAL. APRIL. MDCCCLXXIX. Lemanus lacus quam maxime depressus fuit et ab hocce infimo gradu moduli infra conspicui fit initium. (Le zéro de ce limnimètre a été placé à la hauteur extrêmement basse qu'avaient les eaux du lac le 1^{er} avril 1779.)

III CAL. AUG. MDCCXCII ad altitudinem usque tunc ignotam excrevit. (Le 30 juillet 1792 le lac atteignit une hauteur jusqu'alors inconnue) (8 pieds 10 pouces du limnimètre).

Cette échelle est restée en place jusqu'en mars 1868. A cette

époque, M. Ch. Nicod a fait transporter le limnimètre dans le port qu'il a construit en avant de sa propriété du Creux-de-Plan. Il a confié cette opération à M. J. Gallandat, géomètre. Celui-ci se basant sur trois repères intermédiaires dont il avait déterminé la hauteur exacte avec un niveau de précision, soit dans l'ancienne position, soit dans la nouvelle position de la plaque de marbre, a fait sceller dans la muraille le limnimètre de Mestrezat exactement à la même hauteur qu'il avait auparavant. D'après le soin qu'il a mis à ce travail et les vérifications qu'il a répétées, M. Gallandat estime qu'il n'y avait pas un millimètre d'écart entre les deux hauteurs.

Dans une visite que nous fîmes sur les lieux le 15 novembre 1880, M. Gallandat reconnut parfaitement la localité et ne sut pas retrouver l'indice de modifications ou d'affaissements depuis le jour du transport.

Ainsi donc, sauf les affaissements généraux ou locaux que peuvent avoir subi ces murailles depuis 1793 ou 1868, nous pouvons retrouver par un nivellement actuel la cote absolue de l'ancien limnimètre Mestrezat.

C'est le travail qu'a fait lui-même, le 6 décembre 1880, M. L. Gonin, et le résultat de son nivellement avec le repère cantonal vaudois du ponceau de chemin de fer au-dessus de la campagne du Creux-de-Plan, donne pour le zéro du limnimètre de Mestrezat¹ : $RPN - 2.759 \text{ m.} \pm 0.003$

soit $ZL + 0.241 \text{ m.}$

Nous avons ainsi à 0.241 m. la cote des basses eaux de 1779, et le zéro de Mestrezat nous permettra de déterminer en hauteurs absolues la cote des hautes eaux dont l'observateur nous a conservé les chiffres.

Avec ce limnimètre, Mestrezat a fait des observations régulières. Malheureusement ses cahiers d'observations ont été égarés ou perdus; des recherches faites dans les papiers qu'il a laissés à sa famille n'ont pas abouti, et nous en sommes ré-

¹ Cette équation diffère de 127^{mm} de celle qu'on peut déduire de la coordination de G.-H. Dufour, adoptée par Fr. Burnier; elle diffère de 212^{mm} de celle qu'ont adoptée les auteurs de la Réponse de Genève.

duits à la série des maximums des hautes eaux de 1780-1782 et 1792-1825 dont Mestrezat avait envoyé une copie à Genève ¹.

Les premières observations limnimétriques régulières faites sur le lac dont les registres aient été retrouvés sont celles de Vevey.

En 1817 Nicod-Delom fit établir à Vevey, près de l'Eperon de l'Aile, un limnimètre à flotteur ² formé d'une bouteille, soit flotteur, portant une baguette en bois léger, longue de 15 pieds, graduée de bas en haut en pouces de Berne. Un tuyau de bois de sapin servait à guider la tige du flotteur; celle-ci venait apparaître à une ouverture de la colonne qui entourait tout l'appareil, et recouvrait le puits où reposait le flotteur. D'après les notes données dans les registres d'observations, il n'y a eu que deux réparations importantes à cet appareil. La première en 1829, du sable avait rempli le puits et les eaux exceptionnellement basses de cet hiver ont fait descendre le flotteur jusqu'au fond. A une date qui n'est pas indiquée l'on a curé le puits en l'approfondissant. La seconde en mars 1832 : « renouvelé la règle et remplacé par une pierre dure celle en mollasse, percée du regard, que des malveillants avaient agrandi pour y passer la main et tout déranger. » En janvier 1829, pendant que le flotteur était ainsi échoué, les lectures ont été continuées sur un pilotis du port. En mars 1832, il n'y a aucune interruption dans les observations et aucune variation anormale qui puisse faire soupçonner une modification notable dans l'équation de l'instrument.

Les observations faites à cet appareil, que nous possédons, sont : Des observations journalières de novembre 1817 jusqu'en janvier 1825. Les lectures étaient assez irrégulières dans les premiers mois; à partir de juin 1818 il n'y a plus que très peu de lacunes.

De février 1825 à octobre 1826 il y a dans le registre de Ve-

¹ Mémoire de 1844 du général Dufour.

² V. Feuille du canton de Vaud, XI, p. 59, Lausanne, 1824.

vey de graves lacunes qui viennent, semble-t-il, de l'infidélité d'un copiste; il n'y a de rapportés que les mois de mars, juin, juillet et décembre 1825, les autres manquent.

J'y supplée approximativement de la manière suivante. Dans la *Feuille du canton de Vaud*, de D.-A. Chavannes, depuis 1824 on donnait régulièrement en cotes du limnimètre de Vevey la hauteur du lac le 1^{er} et le 15 de chaque mois. J'en ai tiré les moyennes mensuelles en prenant la moyenne arithmétique des cotes du 1^{er}, du 15 (que je compte deux fois) et du 1^{er} du mois suivant ¹.

De novembre 1826 à août 1840 les observations quotidiennes nous sont conservées.

J'écarte les moyennes mensuelles de juin et de juillet 1840, car la comparaison avec celles de Genève me prouve qu'un accident a dû rendre erronées les observations de Vevey, probablement entrée de l'eau dans le flotteur.

Comment faire la coordination de cette belle série de 23 années d'observations et en traduire les valeurs en hauteurs absolues du lac? J'ai deux procédés.

a. Je puis partir des maximums de Mestrezat dont je connais la cote absolue, comme je l'ai dit plus haut, et tirer l'équation du limnimètre de Vevey par la comparaison avec les observations parallèles données dans les registres. Le parallélisme de ces valeurs dans les 7 années d'observations 1818 à 1824 est très suffisant, l'écart entre les différences, la plus forte et la plus faible, n'est que de 61^{mm}. Par ce procédé je

¹ Pour les mois de février et de septembre 1826, je n'ai que la cote du 1^{er} et du 15, et il me manque la cote du 1^{er} du mois suivant, je prends pour la moyenne du mois la cote du 15.

Dans la *Feuille du canton de Vaud* il nous manque les observations limnimétriques de mars, avril, mai et octobre 1826.

Pour la moyenne annuelle de 1826 je l'ai tirée au moyen d'une règle de proportion des 8 moyennes mensuelles que nous possédons. Le maximum et le minimum de 1826, je les tire des cotes de Genève dont j'obtiens l'équation approximative par une comparaison avec les cotes antérieures et postérieures de Vevey.

trouve pour le zéro de l'ancien limnimètre de Vevey (le zéro est en haut de l'échelle) :

$$ZL + 4.284 \text{ m.}$$

b. Je puis partir des observations du limnimètre du Grand-quai de Genève pendant les années 1838 et 1839. Nous savons que le zéro de cet appareil a été déterminé par le général Dufour, et nous en avons l'équation¹; nous pouvons apporter aux moyennes annuelles une correction de $+ 25^{\text{mm}}$ représentant la pente moyenne du lac entre Morges et le Grand-quai (1850) et par une comparaison convenable tirer le zéro du limnimètre de Vevey, qui aurait

$$ZL + 4.398 \text{ m.}$$

Ce chiffre diffère du premier de 114^{mm} , les cotes étant de 114^{mm} plus élevées dans la coordination avec le limnimètre de Genève que dans celle avec le limnimètre Mestrezat.

Peut-on trouver la cause de cet écart ?

Cet écart peut provenir d'une modification dans l'instrument de Nicod-Delom qui aurait changé son équation par suite de réparations ou d'accidents. Je ne suis pas arrivé à trouver d'indices de telles modifications.

¹ *G.-H. Dufour*. Notes sur les limnimètres établis à Genève. Bibl. univ. de Genève, nouv. sér. XIII. Genève 1838, p. 152 sq.

Dans sa note de la Duplique de Genève, M. E. Plantamour hésite entre l'équation du limnimètre du Grand-quai, telle que le général Dufour l'avait déterminée en 1838, et celle qu'on tire d'observations des ingénieurs français, sous la direction de M. Bourdaloue en 1857. Il y a 27^{mm} d'écart entre les résultats de ces deux opérations.

Pour mon compte je ne suis pas disposé à admettre l'équation des ingénieurs français par le motif que voici : Ainsi que nous allons le voir, des observations de Fr. Burnier nous pouvons déduire, pour 1850, une pente moyenne de 25^{mm} entre le port de Morges et le limnimètre du Grand-quai de Genève, avec l'équation du général Dufour. S'il y avait dans cette équation une erreur en trop bas de 27^{mm} , nous aurions une pente moyenne de 2^{mm} seulement; mais l'eau étant plus élevée dans le port de Genève qu'à Morges, ce serait absurde, et nous avons là une preuve de la justesse relative de l'équation du général Dufour. Je serais plutôt disposé à chercher une erreur en sens inverse, car je dois avouer qu'une pente moyenne de 25^{mm} entre le lac et l'ancien limnimètre du Grand-quai me semble un peu faible.

Cet écart peut provenir aussi d'erreurs dans la coordination des observations qui m'ont servi de base de comparaison. Les deux séries sont l'une et l'autre sujettes à certaines critiques. D'une part les maximums de Mestrezat peuvent être entachés d'une erreur provenant d'un glissement de terrain ou d'un affaissement des murs. C'est peu probable, mais c'est possible. D'une autre part, l'équation du limnimètre de Genève, déterminée par G.-H. Dufour en 1837, peut être entachée d'erreurs, provenant de la difficulté du repérage dans un port, où les seiches ont une valeur aussi considérable que celle que les observations des dernières années ont révélées.

Je suis fort embarrassé pour choisir entre ces différentes solutions dont aucune ne s'impose d'une manière décisive à moi. Dans l'incertitude où je suis, je prends un terme moyen et, jusqu'à plus ample informé, j'établis l'équation de l'ancien limnimètre de Vevey, limnimètre de Nicod-Delom, en admettant que son zéro était à $ZL + 4.341 \pm 0.057$ m.

L'erreur possible étant ainsi de 57 millimètres en plus ou en moins.

De 1843 à 1880 nous avons le choix entre de nombreuses séries d'observations, toutes faites à des limnimètres établis dans le lac; nous les préférerons à celles de Genève parce que nous n'aurons pas à faire intervenir de correction pour la pente de la sortie du lac. J'utiliserai les séries suivantes qui me semblent les meilleures :

De 1843 à 1849 au limnimètre à flotteur d'Ouchy.

De 1850 à 1854 à l'échelle limnimétrique de Morges.

De 1855 à 1875 au limnimètre à flotteur de Vevey.

De 1876 à 1880 au limnimètre enregistreur de Morges.

Ce n'est qu'en 1866 qu'a été commencé sur les bords du lac le nivellement de précision de la Suisse qui nous donne des repères assurés pour les observations limnimétriques; pour les années antérieures à 1866 nous sommes donc obligés d'avoir recours à des comparaisons et à une coordination.

La base de mon système de coordination repose sur les observations limnimétriques faites dans le port de Morges, de 1850 à 1854 par MM. Fr. Burnier, Ch. Dufour et Al. Yersin; une mesure de précaution fort simple prise par ces physiiciens donne à cette série la plus grande valeur et le meilleur repérage que l'on puisse espérer. Quelques détails justifieront le prix que j'attache à ces observations.

Une échelle graduée fixée au mur du quai dans l'intérieur du port servait de limnimètre; le zéro avait été placé d'une manière quelconque. Pour essayer de déterminer la hauteur absolue de ce zéro, Fr. Burnier a procédé comme nous l'apprend son mémoire de 1854. Il a admis comme bien repérées les observations du limnimètre du Grand-quai de Genève; il leur a comparé les observations de Morges en choisissant 40 séries de dix jours, ou décades, pendant lesquelles le lac, presque immobile, lui paraissait dans les meilleures conditions d'horizontalité; supposant le lac de niveau, de Morges au Grand-quai de Genève, il a tiré de cette comparaison l'équation du limnimètre de Morges dont le zéro aurait été

$$\text{ZL} + 0.287 \text{ m.}$$

Pour permettre une vérification ultérieure il eut la précaution de faire sceller dans le mur du quai une barre de fer à la cote 2.20 m. de son limnimètre, barre qu'il estima ainsi être à la cote $\text{ZL} + 2.487 \text{ m.}$ Mais en 1854 le quai de Morges devait être reconstruit, et pour sauver son repérage, Fr. Burnier se mit en devoir de chercher d'autres points fixes. Un nivellement en six opérations répétées par Fr. Burnier et M. Rossire, ingénieur, a donné la hauteur relative d'une *tache rouge*, dite repère cantonal, face supérieure du socle d'angle du bâtiment de la Douane de Morges. Le calcul de Burnier assignait à cette tache rouge la cote

$$\text{ZL} + 3.547 \text{ m.}$$

Or, cette tache rouge, située au-dessus du repère fédéral n° 51, a été comprise dans le nivellement de précision de la Suisse qui lui a trouvé la cote

$$\begin{aligned} &\text{RPN} + 0.572 \text{ m.} \\ \text{soit } &\text{ZL} + 3.572 \text{ m.} \end{aligned}$$

D'après cela le zéro du limnimètre de Burnier était de 25^{mm} trop élevé ; donc il y a lieu d'ajouter 25^{mm} aux cotes limnimétriques coordonnées par Burnier pour les rapporter au zéro absolu de la limnimétrie du lac.

Cette coordination parfaitement simple est d'une très grande précision, et nous pouvons nous baser avec une véritable sécurité sur les séries d'observations de Morges de 1850 à 1854 qui ne sont entachées, en fait d'erreurs possibles, que des erreurs de graduation de la règle, des erreurs d'observation et des erreurs de lecture. Ajoutons que les observations étaient faites par MM. Burnier, Dufour et Yersin, eux-mêmes.

Notons en passant que l'on peut tirer de ce calcul avec une très grande sûreté la pente existant à cette époque entre le lac dans le port de Morges et le port de Genève, l'équation du limnimètre du Grand-quai, telle qu'on l'obtient des déterminations du général Dufour, étant sensée exacte. Burnier supposait le lac de niveau de Morges à Genève ; en réalité, il y a une pente à la sortie du lac. Son erreur de supposition se traduit par une erreur de 25^{mm} dans les résultats ; donc cette pente de Morges à l'ancien limnimètre du Grand-quai de Genève était, en 1850-1854, de 25^{mm} pour la moyenne de l'année, en temps calme.

De juin 1840 à octobre 1843 nous ne possédons pas d'observations régulières faites sur le lac. Nous nous adresserons donc aux observations de Genève, limnimètre du Grand-quai.

Comme nous venons de le dire, nous devons leur faire subir une correction de + 25^{mm} en moyenne, pour en tirer les hauteurs du lac. Je n'ai pas les éléments pour tirer d'une manière directe les variations de cette correction aux hautes et basses eaux ; j'en suis réduit à faire d'une manière hypothétique un tableau analogue à celui que M. Plantamour a dressé pour la correction de la pente du Jardin-Anglais au Grand-quai en 1864-1867, mais dont la moyenne soit 25^{mm} et non 65^{mm}. Voici les corrections que j'adopterai :

| | | |
|------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Janvier + 12 ^{mm} | Mai . . + 29 ^{mm} | Septembre + 29 ^{mm} |
| Février + 17 | Juin . . + 33 | Octobre . + 29 |
| Mars . + 23 | Juillet. . + 34 | Novembre. + 23 |
| Avril . + 26 | Août . . + 31 | Décembre . + 15 |
| Année moyenne + 25 ^{mm} . | | |

Pour les années 1838 et 1839 et les premiers mois de 1840 j'utiliserai les observations de Vevey en donnant à son limnimètre la cote ZL + 4.398 m.

Cette cote est tirée de la comparaison des observations de Vevey avec celles de Genève, repérées par le général Dufour, avec une correction moyenne de + 25^{mm}.

Nous possédons des observations régulières faites au limnimètre d'Ouchy depuis novembre 1843. L'équation de ce limnimètre a été déterminée par Fr. Burnier et fixée à $C = -307^{\text{mm}}$. Comme le zéro de Fr. Burnier était de 25^{mm} trop élevé il y a lieu de diminuer d'autant cette correction négative et de la ramener à $C = -282^{\text{mm}}$.

Mais la comparaison avec les cinq années d'observations de Morges, 1850-1854, m'a montré que les deux séries ne sont pas absolument parallèles; la différence entre les lectures des deux limnimètres varie avec la hauteur des eaux, et cela de telle manière que, si on rapporte au même zéro les deux appareils par les basses eaux, le limnimètre d'Ouchy donnera aux hautes eaux une cote moins élevée que celui de Morges. Voici la marche de ces variations indiquée par la moyenne des différences entre les moyennes mensuelles des cinq années :

| | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Janvier . . . 2 ^{mm} | Juillet . . . 54 ^{mm} |
| Février . . . 13 | Août . . . 51 |
| Mars . . . 16 | Septembre. 41 |
| Avril . . . 26 | Octobre. . 21 |
| Mai. . . . 27 | Novembre . 12 |
| Juin 41 | Décembre . 14 |

D'où provient cette différence variable? Vient-elle d'une imperfection dans la graduation de l'un ou de l'autre instru-

ment? Vient-elle d'un défaut dans le jeu du flotteur du limnimètre d'Ouchy? Je n'en sais rien, mais j'ai lieu de croire que l'erreur vient du limnimètre d'Ouchy. Je me fonde pour cela sur une comparaison entre les observations de Morges et de Vevey qui me montre une marche très parallèle, et sur une comparaison entre les observations de Morges et de Genève qui, sans montrer un parallélisme aussi parfait, tend à prouver aussi l'exactitude relative des observations de Morges.

Dans l'établissement de la correction des observations d'Ouchy, je supposerai donc que celles de Morges sont exactes. La correction des observations d'Ouchy variera de 3^{mm} par chaque décimètre de hauteur d'eau entre — 296^{mm} pour les basses eaux, cote absolue 0.6m., et — 239^{mm} pour les hautes eaux, cote absolue 2.5 m.

J'ai un contrôle de la justesse de cette correction dans la comparaison suivante :

D'après les observations d'Ouchy, corrigées ainsi que je viens de le dire, j'obtiens pour le maximum de 1846 la cote
2.834 m.

Nous verrons plus loin que les marques du mur Pache-Martin à Morges nous donnent pour ce maximum
2.828 m.

La différence 6^{mm} est presque nulle et prouve la justesse des deux opérations.

De février 1850 à novembre 1854 nous avons les observations de Morges, repérées comme je l'ai dit plus haut.

De décembre 1854 à mars 1876 nous utilisons les observations de Vevey.

Le limnimètre de Vevey a été compris en 1870 et 1874 dans les opérations du nivellement de précision et sa correction a été déterminée à $C = + 234^{\text{mm}}$.

C'est cette correction que j'ai employée quand j'ai fait le tableau II du § IV de ces Etudes limnimétriques. Ce tableau donne de 1851 à 1875 les moyennes mensuelles et annuelles

de chaque année. Comme moyen de contrôle j'ai comparé les moyennes obtenues ainsi avec celles que m'ont données pour 1850-1854 les observations de Morges dont le repérage est absolument sûr. Or j'ai trouvé pour ces années 1851 à 1854 un écart moyen de 35^{mm} entre les deux séries, les valeurs de la série de Vevey étant plus hautes de ce chiffre que celles de Morges.

Comme le repérage des observations de Morges est parfaitement certain, l'erreur réside donc dans les observations de Vevey et la correction de ces anciennes observations au lieu

d'être $C = + 234^{\text{mm}}$

devrait être $C = + 199^{\text{mm}}$.

Je ne trouve pas dans la série des observations de Vevey l'explication de ce changement d'équation; en revanche je la trouve dans un fait que m'a appris M. Doret-de la Harpe, de Vevey; témoin de la réparation faite en janvier 1877 au limnimètre de Vevey, il a vu, lorsque l'on a sorti le flotteur, que le vase qui formait ce flotteur était en partie plein d'eau; il évalue à environ trois centimètres l'erreur causée par cette eau qui chargeait le flotteur. Je suppose que cette eau est entrée entre les deux époques auxquelles j'ai pu déterminer l'équation; que, en 1854, le flotteur étant vide d'eau la correction était $C = + 199^{\text{mm}}$; que, en 1870-1874, le flotteur à moitié plein d'eau la correction est devenue $C = + 234^{\text{mm}}$.

A quelle époque s'est faite cette entrée de l'eau? J'ai essayé de le déterminer en comparant les moyennes mensuelles et annuelles de Vevey avec celles d'autres séries parallèles d'observations faites sur le lac, entr'autres avec les observations de Nyon; je ne suis arrivé à rien d'assez précis, les inégalités accidentelles entre les deux séries dépassant trop la faible différence qu'il s'agissait de retrouver. J'ai pris le parti de répartir la différence de 35^{mm} entre les 15 années qui séparent 1854 et 1870, en donnant une correction de 35^{mm} à 1854 et de 0^{mm} à 1870. L'erreur probable de ce fait est donc réduite à $\pm 17^{\text{mm}}$.

De 1876 à 1880 j'utilise les observations de mon limnographe

de Morges et de celui de M. Ph. Plantamour à Sécheron, près Genève.

J'ai encore quelques données à ajouter à ces observations limnimétriques régulières.

1° Les cotes des basses eaux à des époques indéterminées qui nous sont données par les carrières de mollasse de Pully et de Fraidaigue : $ZL + 0.37$ m, et $ZL - 0.3$ m.

2° La cote des hautes eaux de 1775, telle que le chevalier G. Schuckburgh l'a établie à 21 pouces anglais au-dessous du sommet de la Pierre du Niton la plus basse ¹, soit $ZL + 2.497$ m.

3° La cote des basses eaux au 1^{er} avril 1779 qui nous est donnée par le zéro du limnimètre de Mestrezat, soit d'après le repérage de M. L. Gonin à $ZL + 0.241$ m.

4° La cote des basses eaux de 1780, qui est indiquée par un gouton en bronze fixé par M.-A. Pictet sur la face NW de la pierre du Niton la plus élevée. Je n'en ai pas la hauteur directe, mais je la tire d'une note du général Dufour ² qui nous dit que les basses eaux de 1826 ont été de 9 pouces, soit 244^{mm}, au-dessous de ce bouton. Ces basses eaux de 1826 étant, d'après ma coordination, à la cote 0.308 m., les basses eaux de 1780 seraient à la cote $ZL + 0.552$ m.

5° Les minimums de hauteur du lac de 1806 à 1817 sont donnés par les observations de la machine hydraulique de Genève ³. Je les rapporte aux hauteurs absolues du lac par une comparaison avec les minimums ultérieurs de 1818 à 1829 dont nous avons les hauteurs absolues par les observations de Vevey.

C'est d'après ces différentes données que j'ai établi les tableaux XX et XXI des différentes valeurs limnimétriques du lac, les maximums depuis 1780, les minimums depuis 1806

¹ *G.-H. Dufour*. Mémoire de 1838.

² Mémoire de 1838.

³ *G.-H. Dufour*. Mémoire de 1844.

Tableau XX. — *Maximums et minimums du lac Léman de 1775 à 1817.*

| Années. | Maximums. | Minimums. |
|---------|-----------|-----------|
| 1775 | 2.497 m | — |
| 1779 | — | 0.241 m |
| 1780 | 1.707 | 0.530 |
| 81 | 2.220 | |
| 82 | 2.441 | |
| 1792 | 2.832 | |
| 93 | 2.367 | |
| 94 | 2.588 | |
| 95 | 2.000 | |
| 96 | 2.074 | |
| 97 | 2.147 | |
| 98 | 1.756 | |
| 99 | 2.343 | |
| 1800 | 1.731 | |
| 1 | 1.805 | |
| 2 | 2.490 | |
| 3 | 1.560 | |
| 4 | 2.343 | |
| 5 | 2.147 | |
| 6 | 2.391 | 0.804 |
| 7 | 2.465 | 0.750 |
| 8 | 2.098 | 0.669 |
| 9 | 2.490 | 0.777 |
| 1810 | 2.025 | 0.642 |
| 11 | 2.245 | 1.075 |
| 12 | 2.074 | 0.614 |
| 13 | 1.805 | 0.642 |
| 14 | 2 000 | 0.561 |
| 15 | 1.780 | 0.642 |
| 16 | 2.807 | 0.831 |
| 17 | 2.880 | 0.750 |

(Voir la suite au tableau XXI.)

(1779 et 1780) les moyennes annuelles depuis 1818 et les moyennes mensuelles depuis novembre 1817. En présence des documents en ma possession, en décembre 1880, ce sont les chiffres qui me semblent le plus près des faits et je les estime préférables à ceux donnés par les autres essais de coordination, dont j'ai, du reste, fait autant que possible, usage.

(Voir le tableau XX à la page ci-contre, le tableau XXI à la suite.)

Je donne graphiquement dans la planche VII les valeurs limnimétriques des tableaux XX et XXI. Pour faciliter l'étude des variations de niveau, j'ai tracé entre les valeurs absolues de chaque année, une courbe moyenne calculée de la manière suivante : je prends pour chaque année la moyenne arithmétique des valeurs de l'année elle-même, des deux années précédentes et des deux années suivantes; chaque point de ces courbes moyennes représente donc la moyenne de cinq années, et chaque année entre cinq fois dans l'établissement de ces courbes moyennes.

Nous avons quelques moyens de contrôle qui nous permettront de juger l'exactitude de nos chiffres. Ce sont des notes ou observations faites sur la hauteur du lac dans des conditions spéciales :

1° Nous possédons d'une manière relativement sûre les hauteurs des maximums de 1816, 1817 et 1846; ces hauteurs étaient inscrites par des marques horizontales gravées sur le mur du jardin Pache-Martin sur le port de Morges, vis-à-vis de la Douane. Ces marques ont été détruites par un récrépisage en 1852; mais auparavant les propriétaires, MM. S. Pache et S. Martin, notaires, ont eu soin de relever la hauteur au-dessus du sol, cette hauteur était :

| | | | |
|-----------------|-----|--------|------------|
| Maximum de 1817 | 108 | lignes | vaudoises. |
| » de 1816 | 89 | » | |
| » de 1846 | 71 | » | |

Le sol a été maintenu intact; le quai ayant été recouvert d'une épaisseur de 15 centimètres de gravier pour dominer les inondations des années dernières, j'ai dû fouiller pour retrouver les pierres de taille qui formaient le revêtement du mur du quai au-dessous des marques. Un coup de niveau avec le repère cantonal, situé au-dessus du repère fédéral N° 51, aujourd'hui détruit, me donne pour cette base une cote assurée d'où je déduis la hauteur absolue des marques ¹ que je donne en regard des chiffres de ma coordination.

| | Marques de Morges. | Tableau F.-A. F. | Différence. |
|-----------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Maximum de 1817 | 2.939 m. | 2.880 ^m | — 59 ^{mm} |
| » 1816 | 2.882 | 2.807 | — 75 |
| » 1846 | 2.828 | 2.834 | + 6 |

2° Nous avons un contrôle approximatif de deux de nos maximums dans une note de M. J. Favre, de Rolle ², qui dit : « En 1816 et 1817 le lac a dépassé de plus de 4 décimètres la ligne des hautes eaux de 1775 d'après le chevalier G. Schuckburgh; par contre l'année dernière, 1822, il est resté d'environ 3 décimètres au-dessous de cette ligne. » D'après G.-H. Dufour la ligne de Schuckburgh est à la cote . . . 2.497^m
cela donnerait, d'après J. Favre, pour 1817 . . . 2.897
1822 . . . 2.197
Ma coordination donne pour 1817 . . . 2.880
1822 . . . 2.227

L'écart entre les deux séries n'est que de 17 et de 30^{mm}.

3° Nous avons encore l'indication qui nous est donnée dans

¹ En général les marques, faites de cette manière sur les murs des quais, sont un peu trop élevées; elles sont ordinairement gravées après coup quand les eaux sont redescendues, d'après la ligne brunâtre laissée contre le mur par les Algues et Diatomées de l'écume du lac. Cette ligne, qui reste apparente pendant quelques mois, a une largeur de quelques cinq à dix centimètres, et, par suite d'une faiblesse bien explicable, on choisit le plus souvent dans cette ligne une cote de quelques centimètres trop haute.

² *Feuille du canton de Vaud*, t. X, p. 86. Lausanne 1823.

la *Feuille du canton de Vaud*¹ que le maximum de 1817 devait correspondre à la cote 62 pouces de Berne du limnimètre Nicod-Delom. D'après l'équation que nous avons donnée au limnimètre de Vevey, cela donnerait pour le maximum de 1817 :

$$\text{ZL} + 2.821 \text{ m.}$$

Mais une comparaison des maximums de Mestrezat avec le limnimètre de Vevey me prouve que, dans la détermination de cette cote de 62 pouces du limnimètre de Nicod-Delom pour le maximum de 1817, il y a eu une erreur d'environ 4 pouces de Berne et que ce maximum devait être à la cote 58 pouces. Si cette correction est exacte, d'après mon équation du limnimètre de Vevey, le maximum de 1817 aurait été à

$$\text{ZL} + 2.919 \text{ m.}$$

Ces cotes de 1816 et 1817 sont donc d'après les différentes données :

| | 1816 | 1817 |
|--|-------|-------|
| Mestrezat, repérage L. Gonin | 2.807 | 2.880 |
| Marques du port de Morges. S. Martin. F.-A. F. | 2.882 | 2.939 |
| Notes J. Favre. Schuckburgh | | 2.897 |
| Limn. de Vevey. <i>Feuille du canton de Vaud</i> . . | | 2.821 |
| Id. F.-A. F. | | 2.919 |
| Général Dufour et F. Burnier | 2.90 | 2.93 |
| Réponse de Genève | 2.995 | 3.02 |
| Genthod. M. H. de Saussure ² | 3.2 | à 3.3 |

Ces différents procédés de mesurage et de repérage sont assez conformes entr'eux, si l'on écarte l'indication évidemment erronée de la *Feuille du canton de Vaud*, les cotes de la Réponse de Genève et l'appréciation que M. H. de Saussure tire des souvenirs de Genthod. Les cinq autres systèmes offrent entr'eux des différences qui ne dépassent pas ± 5 cen-

¹ T. XI, p. 61. Lausanne 1824.

² H. de Saussure. La question du lac, Genève 1880, p. 20. Il y a une telle différence entre les cotes parfaitement authentiques que je tire des marques du port de Morges, et les hauteurs que M. de Saussure déduit des souvenirs de Genthod, que je dois croire à une erreur dans ces dernières.

timètres, ce qui étant données les méthodes en présence n'est certainement pas beaucoup. Il est probable que les hautes eaux de 1817, les plus hautes connues, ont atteint une cote intermédiaire à 2.88 et 2.94 m.

4° D'après Macaire-Prinsep¹, le Banc du Travers n'était, de son temps, couvert en hiver que d'une profondeur d'eau de 3 à 4 pieds, « à peine suffisante pour la navigation. » Il écrivait en 1824.

Les plus basses eaux de 1806 à 1824 ont été d'après ma coordination :

| | |
|------|--|
| 1814 | ZL + 0.561 m. soit RPN — 2.44 m. |
| 1819 | ZL + 0.499 RPN — 2.50 |
| 1823 | ZL + 0.577 RPN — 2.42 |

Le col du Banc du Travers devait être de 3 à 4 pieds, soit de 0.97 à 1.3 m. plus bas.

Cela nous donne, pour la passe du Banc du Travers, des cotes allant de RPN — 3.80 à RPN — 3.40 m., suivant les années que l'on choisit.

Or, d'après les sondages du général Dufour², le Banc du Travers avait, en 1841, à ses points les plus élevés, les cotes RPN — 3.54, — 3.79, — 3.84, — 3.89 m., etc.

Ces chiffres concordent très suffisamment avec ceux que mon système de coordination me donne.

5° Macaire Prinsep nous dit encore³ que le maximum de 1824 a été presque exactement à la même hauteur que la ligne du chevalier Schuckborough pour 1875. Cette dernière est à la cote 2.497 m.

Ma coordination donne pour le maximum de 1824 2.484

Différence 0.013

¹ Notice sur les travaux entrepris sur le niveau du lac de Genève etc., p. 73.

² Réponse de Genève, pl. I.

³ Loc. cit., page 69.

Ces opérations de contrôle, empruntées à des données toutes différentes de celles qui nous ont servi pour la coordination, nous amènent à des chiffres assez rapprochés de ceux de notre tableau, pour nous assurer de la justesse générale de nos principes. Notre coordination est exacte à un petit nombre de centimètres près; telle est la conclusion à laquelle m'amène la vérification de ces différents moyens de contrôle.

§ XXIX. — Variations de hauteur du lac.

Reprenons maintenant les tableaux XX et XXI et la planche VII qui expriment numériquement et graphiquement les hauteurs du Léman dans les cent dernières années, et étudions les variations de hauteur du lac. Je rappelle que j'ai désigné sous le nom de *variations de hauteur* les changements généraux de la hauteur des eaux, toute la nappe du lac s'élevant ou s'abaissant à la fois, les crues et décrues du lac; je les ai opposés aux *dénivellations*, changements de hauteur locaux, dans lesquels une partie seulement du lac s'élève au-dessus, tandis que l'autre s'abaisse au-dessous du plan représentant le niveau moyen au moment de l'observation.

La hauteur du lac varie :

- 1° D'un moment à l'autre, *variations horaires*.
- 2° D'un jour à l'autre, *variations diurnes*.
- 3° D'une saison à l'autre, hautes eaux de l'été, basses eaux de l'hiver, *variations estivales*.
- 4° D'une année à l'autre, *variations annuelles*.
- 5° D'une série d'année à l'autre, *variations lustrales*.
- 6° D'un siècle à l'autre, *variations séculaires*.

Reprenons l'une après l'autre ces diverses variations et cherchons à en indiquer l'importance et la signification.

1° et 2°. *Variations horaires* et *variations diurnes*. La hauteur du lac ne varie pas quand il y a égalité entre la quantité d'eau qui y entre et celle qui en sort.

Les apports d'eau dans le lac sont :

- a. L'eau qui y tombe directement en pluie ou en neige.
- b. L'eau qui s'y condense directement quand la température de la surface est plus basse que la température de saturation de l'air.
- c. L'eau des affluents, Rhône du Valais et rivières.
- d. L'eau des sources sous-lacustres.

L'eau qui sort du lac s'en échappe :

- a. Par l'émissaire, le Rhône de Genève.
- b. Par les émissaires souterrains qui pourraient exister ; aucun fait n'en prouve l'existence.
- c. Par l'évaporation de l'eau dans l'atmosphère, quand la température de la surface du lac est plus élevée que la température de saturation de l'air.

De ces divers facteurs les seuls qui aient de l'importance sont : pour l'entrée de l'eau, la pluie et les affluents ; pour la sortie, le Rhône de Genève.

Quand il y a excès dans la somme de l'eau apportée, ou dans celle de l'eau enlevée, le lac monte ou baisse. Etant connue la superficie du lac 577.8 k^2 , on sait qu'une crue de 1^{mm} en 24 heures correspond à un excès de l'entrée sur la sortie de 6.7 m^3 par seconde, une décrue de 1^{mm} en 24 heures à un excès de même valeur de la sortie sur l'entrée.

La plus forte variation diurne connue avec précision est la crue du 24 au 25 mai 1878, crue de 155^{mm} , représentant un excès d'entrée de 1475 m^3 à la seconde, ou encore un excès d'entrée de 89 millions de m^3 en 24 heures ¹.

3^o *Variations estivales.* Je désigne sous ce nom les variations de hauteur d'une saison à l'autre, variations périodiques assez régulières, qui ramènent chaque année des hautes eaux en été, des basses eaux en hiver, et très fréquemment un maximum secondaire au moment de la fonte des premières

¹ Voyez § XXIII de ces Etudes.

neiges et des pluies du printemps, un maximum secondaire en automne, au moment des pluies de l'arrière-saison¹. Ces maximums secondaires ne sont pas assez constants pour qu'on en retrouve la trace dans la courbe moyenne des variations de hauteur du Léman. La grande variation de l'été à l'hiver se dessine au contraire fort bien, et les moyennes mensuelles de soixante-trois années d'observation, 1818-1880, nous donnent les chiffres suivants :

| | m | | m | | m |
|----------|-------|-----------|-------|------------|-------|
| Janvier. | 0.928 | Mai . . | 1.204 | Septembre. | 1.876 |
| Février. | 0.888 | Juin . . | 1.611 | Octobre. . | 1.432 |
| Mars. . | 0.900 | Juillet . | 2.032 | Novembre. | 1.160 |
| Avril. . | 0.991 | Août. . | 2.136 | Décembre . | 1.030 |

Entre la moyenne demi-séculaire du mois le plus élevé et celle du mois le plus bas, nous constatons une variation fort importante (1818 à 1880) :

Moyenne d'août . . 2.136 m.

» de février 0.888 différence 1.248 m.

Si au lieu de nous adresser aux moyennes mensuelles nous prenons les cotes des plus hautes eaux et des plus basses eaux, nous trouvons ce que nous appellerons la variation estivale (1806 à 1880) :

Moyenne des maximums 2.284 m.

» des minimums 0.742 différence 1.542 m.

La plus forte variation estivale connue est celle :

du maximum de 1817 2.880 m.

au minimum de 1818 0.602 différence 2.278 m.

La plus faible connue est celle :

du maximum de 1858 1.640 m.

au minimum de 1859 0.862 différence 0.778 m.

¹ Voyez § XVI de ces Etudes.

Les extrêmes de hauteur connus sont :

le plus fort maximum, 1817 2.880 m.

le plus faible minimum, 1830 0.224 différence 2.656 m.

4° *Variations annuelles.* Deux années qui se suivent ne se ressemblent pas plus au point de vue limnimétrique qu'au point de vue météorologique ; j'en donnerai des exemples en indiquant les plus fortes variations connues de quelques-unes des valeurs limnimétriques.

Variations annuelles des maximums :

Maximum de 1815 1.780

» 1816 2.807 différence 1.027 m.

Variations annuelles des minimums :

Minimum de 1842 0.567

» 1843 1.024 différence 0.457 m.

Variations annuelles des moyennes annuelles :

Moyenne annuelle de 1831 1.253 m.

» 1832 0.797 différence 0.456 m.

Les variations d'allures du lac d'une année à l'autre sont souvent fort prononcées : je citerai parmi les plus évidentes celles des années 1879 à 1880, 1845 à 1846, etc.

5° *Variations lustrales.* Il est une variation parfois très évidente : des séries d'années, cinq, dix, quinze, se ressemblent au point de vue de la hauteur des eaux et malgré des variations annuelles quelquefois très marquées, présentent un caractère général commun, puis vient une série d'années avec un caractère tout différent. Je désigne ces variations sous le nom de variations lustrales, non pas que je recherche dans leur période essentiellement irrégulière, rien qui rappelle le chiffre de cinq ans, mais je leur donne un nom pour indiquer que je considère une périodicité intermédiaire entre la variation annuelle et la variation séculaire. Je citerai comme exemples de ces périodes lustrales :

La période des forts maximums de 1870 à 1879.

La période des eaux moyennes peu élevées de 1847 à 1859.

La période des bas minimums de 1826 à 1840.

Disons ici qu'en étudiant la variation de hauteur du lac, je n'ai rien su trouver qui rappelle la période régulière de 10 à 11 ans des taches du soleil.

6° *Variations séculaires.* Je désigne sous ce nom des variations à plus longues périodes qui se reconnaîtraient d'un siècle à l'autre ou d'une fraction de siècle à l'autre, et qui se traduiraient par un exhaussement ou un abaissement généraux des hauteurs moyennes, ou des hautes eaux, ou des basses eaux.

J'en citerai un exemple qui n'est pas contesté, à savoir l'élévation relative dans les cinquante dernières années des eaux de l'hiver qui étaient autrefois notablement plus basses qu'actuellement.

Je citerai encore la diminution dans l'amplitude de la variation estivale, qui se prouve par les chiffres suivants :

La différence entre les maximums et minimums a été :

| | | |
|---------|---------------------|----------|
| de 1787 | à 1791 ¹ | 1.710 m. |
| 1806 | à 1820 | 1.540 |
| 1821 | à 1840 | 1.730 |
| 1841 | à 1860 | 1.460 |
| 1861 | à 1880 | 1.436 |

De la période de 1830 à celle de 1870 il y a près de 30 cm. de différence dans l'amplitude moyenne de cette variation estivale; elle est plus faible aujourd'hui qu'elle ne l'était autrefois.

§ XXX. — Causes des variations de hauteur.

Quelles sont les causes de ces différentes variations? Il est évident qu'elles doivent être cherchées dans les variations

¹ D'après les observations de la Société des Arts de Genève. Voir *G.-H. Dufour*, mémoire de 1844.

des différents facteurs qui interviennent pour apporter et pour emmener l'eau du lac.

Cette réponse peut se préciser d'une manière plus immédiate en considérant deux ordres de causes :

1° Les variations des agents météoriques.

2° Les modifications de l'émissaire de Genève.

Que les agents météoriques, qui versent l'eau dans le lac et qui en enlèvent par l'évaporation, soient variables d'un jour à l'autre, d'une saison, d'une année à l'autre, et qu'il en résulte des variations dans la hauteur du lac, cela est évident et n'a pas besoin de démonstration.

Que les modifications apportées à l'émissaire de Genève puissent avoir une influence sur la hauteur du lac, cela est contesté par quelques auteurs genevois et cela demande à être prouvé. Sans entrer dans tous les développements d'une trop longue démonstration, je me bornerai à en indiquer les trois points suivants :

a. Il y a eu et il y a encore des modifications apportées à l'émissaire. Je citerai : les opérations d'ouverture et de fermeture du barrage mobile de Genève, — toutes les nouvelles constructions faites dans la rade, dans le port et dans le Rhône de Genève, — toutes les suppressions d'obstacles enlevés par ordre des autorités genevoises, — tous les faits d'alluvion et d'érosion qui se passent à la sortie du lac, qu'ils soient des phénomènes purement naturels, ou qu'ils soient la conséquence de la construction ou de la suppression d'obstacles artificiels.

b. L'adjonction de toute construction nouvelle, ou tout dépôt d'alluvion à la sortie du lac, est un obstacle à l'écoulement du fleuve, obstacle qui agit pour sa part en diminuant le débit du fleuve par rapport à la hauteur du lac; toute suppression d'obstacle antérieur, ou tout phénomène d'érosion est une facilité donnée à l'écoulement du fleuve, une augmentation de son débit pour la même hauteur du lac. Ces actions peuvent être infiniment petites ou avoir une valeur appréciable,

mais on peut affirmer qu'aucune n'est absolument indifférente.

c. L'expérience nous apprend l'effet réel, positif et parfaitement appréciable sur la hauteur du lac des opérations faites au barrage mobile du pont de la machine. Dans un paragraphe spécial je traiterai de ce point. Je veux me borner à en montrer l'effet en mettant en regard les deux hivers 1829-1830 et 1879-1880, très comparables l'un à l'autre au point de vue de la sécheresse et de la température. Les minimums ont été 0.224 m. en 1830 et 0.985 m. en 1880, différence 761^{mm} due évidemment en grande partie au fait que les digues et écluses de Genève ont été ouvertes en 1830 et fermées en 1880.

Nous étudierons plus loin dans un paragraphe spécial les variations de la pente dans le port de Genève, et nous trouverons des modifications très importantes, dans la courte période de moins de cinquante ans, qui nous donne des observations exactes. Les variations de la pente ne peuvent provenir que de modifications apportées au lit du fleuve, et prouvent ainsi l'effet de ces modifications sur le débit du Rhône.

Etudions l'effet des modifications apportées à l'émissaire de Genève; toutes les variations de hauteur qui ne seront pas causées par ces modifications devront être attribuées aux variations des agents météoriques.

L'émissaire de Genève peut être modifié de deux manières :

Ou bien temporairement par le jeu des barrages mobiles et les vannes de la machine hydraulique de Genève.

Ou bien d'une manière permanente et continue par la construction ou par la destruction d'obstacles dans le fleuve à la sortie du lac.

1° Le barrage mobile posé en hiver dans le triple but de maintenir une hauteur d'eau suffisante pour la navigation, de déterminer une chute active la plus haute possible sous les roues de la machine hydraulique de Genève, enfin de conserver la plus grande réserve possible d'eau, force motrice de cette machine, ce barrage a pour effet :

a. De relever les basses eaux de l'hiver.

b. De relever la moyenne annuelle, en conséquence des plus hautes eaux de l'hiver.

c. De relever les hautes eaux de l'été.

d. D'augmenter la durée des hautes eaux.

Le point *a* sera démontré plus loin dans un paragraphe spécial, le point *b* est une conséquence de la vérité du point *a*. Les points *c* et *d* ont besoin d'une démonstration. Je la donnerai de la manière suivante : en utilisant les débits du Rhône à Genève tels que les observations et jaugeages de 1873 et 1874 nous les font connaître, je puis évaluer approximativement, par un calcul fort simple, quelle est la quantité d'eau entrée tel jour dans le lac, et quelle serait la crue ou la décrue du lac si celui-ci avait eu une hauteur ce jour-là différente de sa hauteur réelle. J'ai calculé pour l'année 1879 quelle aurait été la courbe des hauteurs du lac en supposant qu'à la date du 2 juin, le lac, au lieu d'être à la hauteur relativement élevée de 1,731 m., aurait été maintenu, par une ouverture convenable des barrages d'hiver, à la cote de 1.200 m., soit de 531^{mm} plus basse que la cote réelle. La planche VIII donne, dans sa courbe B, l'état des eaux du lac dans l'été 1879, dans cette supposition. On y voit :

a. Que la crue du lac aurait été relativement plus rapide qu'elle ne l'a été. En réalité, du 2 juin au 5 juillet le lac est monté de 1.731 à 2.692 m., soit de 961^{mm}. Dans mon hypothèse, dans la même période, il serait monté de 1.200 m. à 2.549, soit de 1.349; différence en plus dans la rapidité de la crue 388^{mm}.

Cela se comprend. Dans mon hypothèse, le lac étant plus bas, le débit de l'émissaire aurait été moins considérable, et le rapport entre l'entrée et la sortie de l'eau aurait été modifié dans le sens d'une crue plus rapide.

b. Que cette plus grande rapidité de la crue n'a pas été assez forte pour faire atteindre la courbe réelle par notre courbe hypothétique, même à la date du 31 août. A cette épo-

que, après que les eaux avaient notablement commencé à s'abaisser, il y aurait eu encore un écart de 30^{mm} entre les deux courbes.

c. Tandis que le lac a eu son maximum le 16 juillet par 2.788 m., à cette date notre courbe hypothétique n'atteignait que 2.688; différence 100^{mm}.

d. Que le maximum de notre courbe hypothétique n'a été atteint que le 18 août, soit 33 jours après le maximum réel, avec une cote de 2.729 m., de 59^{mm} inférieure à celle du maximum réel du 16 juillet.

e. Enfin que la durée des eaux d'inondation aurait été bien moins longue. C'est ce que montre la comparaison du nombre des jours où le lac a ou aurait dépassé les cotes 2.6 m. et 2.7.

| | | En réalité. | Dans notre hypoth. | Différence. |
|-----------------------------|----------|-------------|--------------------|-------------|
| Au-dessus de la cote 2.7 m. | 25 jours | 8 jours | 17 jours. | |
| » 2.6 | 59 » | 34 » | 25 » | |

Cet exemple n'a pas besoin d'être développé plus longuement; il montre quel effet peut avoir sur les hautes eaux d'été, le maintien artificiel des basses eaux d'hiver à une hauteur trop considérable.

On peut se demander quel peut être l'effet maximal du jeu du barrage mobile sur les variations diurnes du lac? Nous verrons plus loin que l'on peut évaluer à 130 m³ par seconde la différence dans le débit du Rhône, le lac étant à la cote de 1.35 m. suivant que le barrage est entièrement ouvert ou entièrement fermé. Or, 130 m³ à la seconde en plus ou en moins dans le débit de l'émissaire occasionnent, toutes choses égales d'ailleurs, une crue ou une décrue de 19^{mm} en 24 heures; 2 cm. par jour, tel est l'effet maximal sur les variations du lac qui peut être attribué aux opérations complètes du barrage. Ajoutons ici que dans l'état actuel des choses jamais le barrage n'est entièrement ouvert ou entièrement fermé en un jour, et que son effet à ce point de vue est divisé entre plusieurs jours, plusieurs semaines ou plusieurs mois.

L'exemple d'ouverture du barrage en février 1879¹ nous a montré que l'effet du jeu du barrage mobile se fait sentir immédiatement au moment même des opérations. L'exemple de notre courbe hypothétique en juin, juillet, août 1879 nous prouve que l'effet de ces modifications temporaires peut se prolonger pendant quelques semaines et même quelques mois après l'ouverture du barrage, mais qu'il va en s'atténuant, en diminuant progressivement; qu'au bout d'un certain temps, ce qu'on peut appeler l'état d'équilibre du lac se rétablit et que l'effet des opérations du barrage n'est pas indéfiniment prolongé.

2° Tout autre est l'effet des modifications durables apportées aux débouchés par des obstructions du lit du fleuve; cet effet se prolonge et persiste avec la même intensité aussi longtemps que la modification n'est pas corrigée. Pendant toute l'année, pendant toutes les années qui suivent la construction d'un obstacle, le courant du Rhône en est affecté et subit une diminution de débit relatif, qui influence la courbe des hauteurs du lac en la relevant de quelque chose au-dessus de ce qu'elle aurait été sans cet obstacle; de même pour le dégagement du lit de l'émissaire par la suppression d'un obstacle, la courbe des hauteurs du lac en est définitivement abaissée d'autant. Les variations diurnes, estivales, annuelles, etc., n'en continuent pas moins avec leurs allures commandées par l'état des affluents, mais la courbe de hauteur du lac est un peu plus haute ou un peu plus basse suivant que la résultante des constructions faites sur l'émissaire a un peu plus obstrué ou un peu plus dégagé le cours du fleuve.

Il résulte de cela que, parmi les variations du lac, on ne peut attribuer comme étant causées par les modifications permanentes des débouchés que celles que j'ai appelées variations séculaires, ou à très longues périodes; toutes les variations à courtes périodes, variations annuelles ou lustrales,

¹ V. § XXIV, IV^e série.

variations qui durent peu de temps pour s'effacer ensuite, sont le résultat des variations des météores.

C'est ainsi que nous trouvons, dans le tableau des hauteurs du lac, des eaux d'inondation en 1816 et 1817, des eaux d'inondation en 1846, des eaux excessivement basses en 1857 et 1858, des eaux exceptionnellement hautes en 1877 et 1879, des eaux exceptionnellement basses en 1880; ces faits je les attribue sans hésiter aux circonstances météorologiques qui ont déterminé des crues abusives ou un dessèchement extraordinaire des affluents. Quant aux dix dernières années qui ont été exceptionnellement hautes, et cela d'une manière presque continue, je demande à ne pas me prononcer encore sur la cause de cette surélévation; l'année 1880 nous montre bien que l'état d'inondation de 1870-1879 n'est pas un état définitif et permanent; mais sont-ce les années 1870-1879 qui sont les exceptions, ou bien est-ce l'année 1880 qui est anormale, c'est ce que l'avenir seul pourra nous apprendre par des observations limnimétriques suffisamment prolongées.

§ XXXI. — Variations séculaires dans la hauteur du lac.

Y a-t-il des variations séculaires dans la hauteur du lac, reconnaissables aux observations limnimétriques? Cela a été nié par la Réponse de Genève, sur la foi d'un tableau des maximums évidemment entaché d'erreurs; voyons ce que nous pouvons tirer de notre tableau limnimétrique corrigé et étendu.

Je donnerai d'abord nos différentes valeurs limnimétriques distribuées en groupes de cinq, puis de dix, puis de vingt, puis de quarante ans.

Tableau XXII. — *Valeurs limnimétriques en groupes de cinq ans.*

| | maximums | moyennes | minimums |
|-----------|----------|--------------------|----------|
| 1779-1780 | | | 0.385 |
| 1780-1782 | 2.123 | | |
| 1792-1795 | 2.447 | | |
| 1796-1800 | 2.010 | | |
| 1801-1805 | 2.069 | | |
| 1806-1810 | 2.294 | | 0.728 |
| 1811-1815 | 1.981 | | 0.707 |
| 1816-1820 | 2.431 | ¹ 1.180 | 0.652 |
| 1821-1825 | 2.264 | 1.265 | 0.624 |
| 1826-1830 | 2.164 | 1.076 | 0.356 |
| 1831-1835 | 2.056 | 1.042 | 0.357 |
| 1836-1840 | 2.273 | 1.232 | 0.500 |
| 1841-1845 | 2.337 | 1.434 | 0.787 |
| 1846-1850 | 2.275 | 1.320 | 0.806 |
| 1851-1855 | 2.280 | 1.273 | 0.688 |
| 1856-1860 | 2.005 | 1.270 | 0.774 |
| 1861-1865 | 2.288 | 1.471 | 0.959 |
| 1866-1870 | 2.465 | 1.604 | 1.061 |
| 1871-1875 | 2.567 | 1.599 | 1.006 |
| 1876-1880 | 2.570 | 1.676 | 1.122 |

Tableau XXIII. — *Valeurs limnimétriques en groupes de 10 ans.*

| | maximums | moyennes | minimums |
|------------------------|--------------------|----------|----------|
| ¹ 1780-1800 | ² 2.184 | | |
| 1801-1810 | 2.181 | | |
| 1811-1820 | 2.206 | | 0.679 |
| 1821-1830 | 2.214 | 1.170 | 0.490 |
| 1831-1840 | 2.164 | 1.137 | 0.428 |
| 1841-1850 | 2.306 | 1.377 | 0.797 |
| 1851-1860 | 2.143 | 1.271 | 0.732 |
| 1861-1870 | 2.377 | 1.537 | 1.010 |
| 1871-1880 | 2.569 | 1.637 | 1.064 |

¹ Moyennes de 1818 à 1820.

² Il manque les maximums de 1783 à 1791.

Tableau XXIV. — Valeurs limnimétriques en groupes de 20 ans.

| | maximums | moyennes | minimums |
|-----------|--------------------|----------|----------|
| 1780-1800 | ² 2.184 | | |
| 1801-1820 | 2.194 | | |
| 1821-1840 | 2.189 | 1.154 | 0.459 |
| 1841-1860 | 2.224 | 1.324 | 0.764 |
| 1861-1880 | 2.473 | 1.587 | 1.037 |

Tableau XXV. — Valeurs limnimétriques en groupes de 40 ans.

| | maximums | moyennes | minimums |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1780-1800 | ² 2.184 | | |
| 1801-1840 | 2.191 | ¹ 1.157 | ³ 0.560 |
| 1841-1860 | 2.349 | 1.456 | 0.900 |

Tableau XXVI. — Moyennes générales.

| | maximums | moyennes | minimums |
|-----------|----------|----------|----------|
| 1780-1880 | 2.259 | | |
| 1806-1880 | | | 0.742 |
| 1818-1880 | | 1.349 | |

De ces différents tableaux il semble résulter que dans les soixante, quatre-vingts ou cent dernières années il y a eu une modification sensible dans la hauteur du lac. Les maximums se sont relevés d'environ 16 cm., les moyennes annuelles de 29 cm., les minimums de 31 cm.

Faisons, au sujet de ces chiffres, une remarque générale, c'est que les périodes auxquelles nous sommes obligés de faire appel pour cette étude sont un peu courtes, et que dans des séries de quarante ans, et à plus forte raison de vingt ans, quelques années exceptionnelles ont une trop grande influence. Cependant si nous consultons notre tableau géné-

¹ De 1818 à 1840.² Il manque les maximums de 1783 à 1791.³ De 1806 à 1840.

ral, nous y voyons que les variations relativement promptes que j'ai appelées variations lustrales, ont des durées de 2, de 5, de 10 ans, et sont rarement plus étendues. Du reste, cette insuffisance de matériaux n'est pas de notre fait, et nous ne pouvons utiliser que les données que nous avons entre les mains.

Cela dit, reprenons nos trois groupes de valeurs limnimétriques.

Variation des maximums. Sur cette valeur nous avons la plus belle série; nous pouvons en effet la prolonger jusqu'en 1780 avec une interruption de 9 ans (1783-1791). En la divisant en quatre périodes nous avons les moyennes suivantes :

| | | | |
|-----------|--------|-------|---------|
| 1780-1817 | 29 ans | 2.194 | } 2.189 |
| 1818-1840 | 23 | 2.185 | |
| 1841-1860 | 20 | 2.224 | } 2.349 |
| 1861-1880 | 20 | 2.473 | |

et nous obtenons ainsi pour une période de 100 ans une différence de 160^{mm} entre les deux demi-périodes inégales qui précèdent et qui suivent 1840. Seize centimètres, c'est une variation considérable; si dans les dix dernières années le lac avait été de seize centimètres moins élevé, il n'y aurait point eu d'inondations sérieuses, et les discussions actuelles n'auraient pas surgi à nouveau.

Il est une objection assez grave à l'emploi de semblables maximums annuels pour juger la question des variations séculaires de la hauteur du lac, c'est le caractère accidentel de certains de ces maximums. Un orage d'été, une crue extraordinaire des affluents peut, dans une année où les eaux de l'été auraient été relativement basses, relever pour quelques jours à une hauteur peut-être exceptionnelle la valeur du maximum. Cela est vrai, et l'objection est très sérieuse si l'on considère quelques années seulement, ou des maximums isolés; une pareille cause d'erreur s'atténue si l'on fait la comparaison entre un nombre suffisamment grand d'années.

Variation des minimums. La variation des minimums est encore plus considérable que celle des maximums, elle se chiffre par des valeurs de 30, de 40, de 50 centimètres et même plus. Mais comme une grande partie de cette variation est évidemment causée par le jeu des barrages mobiles, nous ne pouvons guère utiliser cette énorme variation des minimums pour juger la question des modifications apportées au débit du fleuve par des constructions fixes et permanentes. Il y a des variations séculaires, cela est incontestable, mais elles sont causées, en partie du moins, par la somme des variations accidentelles, répétées chaque année par la fermeture plus ou moins complète des barrages mobiles de Genève.

Variation des moyennes annuelles. Cette variation qui a pour notre étude actuelle une importance considérable est aussi très évidente et atteint 294^{mm}. Si nous comparons les périodes avant et après 1840, nous voyons le lac s'élever en moyenne de près d'un pied dans la période moderne. Arrêtons-nous un peu sur cette question.

Il est évident que les moyennes annuelles d'un lac échappent absolument à toutes les objections que l'on peut faire aux maximums d'être influencés par des circonstances accidentelles; l'accident disparaît absolument dans la moyenne annuelle, et cette valeur exprime fort bien les rapports variables des apports météoriques d'une part et, de l'autre, des variations des débouchés.

Mais il faut encore ici donner attention au fait qu'une bonne partie de cette variation dans les moyennes annuelles provient de l'élévation des basses eaux; si pendant toute la saison d'hiver le lac est artificiellement surélevé, la moyenne annuelle s'en ressentira; elle subirait une élévation proportionnelle, même si les hautes eaux n'étaient pas modifiées.

Y a-t-il moyen de nous affranchir de cette confusion?

J'ai cherché, dans ces moyennes annuelles, à séparer ce qui appartient à chaque époque de l'année, en utilisant nos

moyennes mensuelles de 1818 à 1880 ; j'ai calculé pour chaque période de vingt ans quel était l'état moyen du lac pour chacun des mois de l'année. Je donne le résultat de ces calculs dans le tableau suivant. Vu son importance qui me semble décisive dans la question, je l'ai compliqué un peu pour présenter toutes les comparaisons désirables. Pour la période de 1818 à 1840¹, j'ai en particulier donné trois séries possibles ; en effet, la détermination du zéro du limnimètre Nicod-Delom est soumise à une incertitude de $\pm 57^{\text{mm}}$. Dans les trois colonnes de cette période j'ai donné les moyennes mensuelles en supposant : pour la 1^{re} que le zéro est fixé d'après les cotes du limnimètre Mestrezat repéré par M. L. Gonin, pour la 2^e que le zéro est celui de ma coordination, pour la 3^e que le zéro est fixé d'après la comparaison des années 1838 et 1839 avec le limnimètre de Genève.

Dans les colonnes où j'ai comparé les moyennes de 1841-80 avec celles 1818-40, j'ai pris pour ces dernières les valeurs de ma coordination. De même pour les moyennes générales de 1818-1880. Les moyennes mensuelles de 1818 à 1840 sont affectées du fait de l'incertitude du zéro du limnimètre de Nicod-Delom d'une erreur possible de $\pm 50^{\text{mm}}$, celles de 1818 à 1880 d'une erreur possible de $\pm 18^{\text{mm}}$.

¹ Si j'ai limité au 31 décembre 1840 les périodes de comparaison que je donne ici, cela tient : *a.* à ce que j'ai commencé cette étude en éliminant autant que possible toute idée préconçue et que les chiffres dont je disposais allant jusqu'à la fin 1880, mes périodes de vingt ans commençaient en 1841 et 1861. *b.* à ce que la date des travaux de la nouvelle machine hydraulique de Genève est assez mal précisée. Voici les données les plus détaillées que nous avons à ce sujet : le batardeau a été commencé en 1839, le bâtiment a été terminé en 1841, les machines ont été montées de 1841 à 1843 et mises en jeu en juillet 1843 (*Ch. Morel. Réponse à M. H. de Saussure, etc. Genève 1880, p. 10*). Les travaux de construction étant commencés en 1839 et terminés en 1841, c'est donc dans cette période que l'effet des nouvelles constructions doit se faire sentir. Il n'y a pas là de données assez précises pour que j'aie pu choisir une date déterminée, et je m'en suis tenu à ma première délimitation.

Tableau XXVII

Moyennes des moyennes mensuelles.

| | 1818-1840 | | | 1841-1860 | 1861-1880 | 1818-1840 | 1841-1880 | Différences. | | 1818-1880 |
|----------------|-----------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-------|-----------|
| | 1 m. | 2 m. | 3 m. | m. | m. | m. | m. | mm. | m. | m. |
| Janvier . . | 0.641 | 0.691 | 0.741 | 0.925 | 1.202 | 0.691 | 1.064 | + 372 | 0.928 | |
| Février . . | 0.567 | 0.617 | 0.667 | 0.919 | 1.169 | 0.617 | 1.044 | + 427 | 0.888 | |
| Mars | 0.582 | 0.629 | 0.676 | 0.904 | 1.191 | 0.629 | 1.053 | + 424 | 0.900 | |
| Avril | 0.658 | 0.705 | 0.752 | 1.028 | 1.268 | 0.705 | 1.148 | + 443 | 0.991 | |
| Mai | 0.941 | 0.988 | 1.035 | 1.166 | 1.479 | 0.988 | 1.322 | + 334 | 1.204 | |
| Juin | 1.330 | 1.380 | 1.430 | 1.598 | 1.891 | 1.380 | 1.744 | + 364 | 1.611 | |
| Juillet . . . | 1.825 | 1.875 | 1.925 | 2.004 | 2.242 | 1.875 | 2.123 | + 248 | 2.032 | |
| Août | 1.975 | 2.025 | 2.075 | 2.074 | 2.326 | 2.025 | 2.200 | + 175 | 2.136 | |
| Septembre | 1.761 | 1.811 | 1.861 | 1.775 | 2.051 | 1.811 | 1.913 | + 102 | 1.876 | |
| Octobre . . | 1.282 | 1.329 | 1.376 | 1.388 | 1.590 | 1.329 | 1.489 | + 160 | 1.432 | |
| Novembre | 0.972 | 1.022 | 1.072 | 1.105 | 1.381 | 1.022 | 1.243 | + 221 | 1.160 | |
| Décembre . | 0.773 | 0.823 | 0.873 | 1.011 | 1.300 | 0.823 | 1.155 | + 332 | 1.031 | |

J'estime que c'est le procédé le plus fidèle pour exprimer l'état du lac d'après les observations limnimétriques que nous possédons. Je traduis ce tableau dans les courbes de la planche IX où l'on voit l'état moyen du lac dans les trois périodes 1818-40, 1841-60, 1861-80. En même temps j'ai mis en regard l'état moyen du lac avant et après 1840. Je regrette pour la période antérieure à 1840 de ne pouvoir disposer que de 23 ou 24 ans d'observations, et je déplore le tout premier la perte des observations de Mestrezat qui auraient été utiles dans cette démonstration. Je ne crois pas, du reste, que si nous avions à adjoindre à nos moyennes mensuelles celles de 1780 à 1818 il y eût un très grand changement à nos chiffres de la période antérieure à 1840. En effet, si dans ces époques reculées nous avons eu les années exceptionnellement hautes de 1792, 1816 et 1817, il y a eu beaucoup d'années à maximum très peu élevé, et la moyenne des maximums de 1780 à 1818 est à peu de chose près la même que celle de 1818 à 1840.

De cette étude, il résulte avec évidence pour moi, qu'il y a eu dans les soixante dernières années un relèvement général du lac, aussi bien des maximums que des minimums, des moyennes annuelles, des hautes eaux d'été et des basses eaux d'hiver.

La valeur de ce relèvement peut se résumer dans les chiffres suivants :

| | |
|--|-------------------|
| Trimestre : février, mars, avril | 431 ^{mm} |
| » mai, juin, juillet | 315 |
| » août, septembre, octobre . . | 145 |
| » novembre, décembre, janvier | 308 |

Suivant que, pour la détermination du zéro du limnimètre Nicod-Delom, l'on prendrait les chiffres extrêmes, ces différences devront être augmentées ou diminuées de 50^{mm}.

Je ne puis pas m'attarder actuellement sur le fait très évi-

dent dans ces chiffres que le relèvement est beaucoup plus fort dans la première partie de l'été que dans la dernière, dans le printemps qu'en automne. C'est probablement l'un des effets de l'exhaussement artificiel des eaux de l'hiver, pendant la période actuelle.

Dans la Réponse de l'Etat de Genève (p. 80) il a été employé un autre procédé de démonstration; on a cherché, en se basant sur le tableau des maximums du port de Genève (planche IV de cette Réponse), les années dans lesquelles le maximum a dépassé certaines cotes; cherchons sur le tableau rectifié des hauteurs du lac à quels résultats cette méthode nous conduira.

Nous donnerons d'abord les années dont les maximums ont été très élevés, au-dessus de la cote 2.5 m.

| Année. | Cote. | Année. | Cote. |
|--------|----------|--------|----------|
| 1792 | 2.832 m. | 1841 | 2.520 m. |
| 1794 | 2.588 | 1843 | 2.544 |
| 1816 | 2.807 | 1846 | 2.834 |
| 1817 | 2.880 | 1861 | 2.507 |
| | | 1867 | 2.643 |
| | | 1871 | 2.580 |
| | | 1872 | 2.607 |
| | | 1873 | 2.640 |
| | | 1874 | 2.517 |
| | | 1876 | 2.661 |
| | | 1877 | 2.761 |
| | | 1878 | 2.612 |
| | | 1879 | 2.788 |

Nous donnerons ensuite les années dont les maximums ont été bas, au-dessous de la cote 2.0 m.

| Année. | Cote. | Année. | Cote. |
|--------|----------|--------|----------|
| 1780 | 1.707 m. | 1850 | 1.935 m. |
| 1795 | 2.000 | 1857 | 1.836 |
| 1798 | 1.756 | 1858 | 1.640 |
| 1800 | 1.731 | | |
| 1801 | 1.805 | | |
| 1803 | 1.560 | | |
| 1813 | 1.805 | | |
| 1814 | 2.000 | | |
| 1815 | 1.780 | | |
| 1819 | 1.946 | | |
| 1825 | 1.897 | | |
| 1829 | 1.855 | | |
| 1832 | 1.708 | | |
| 1835 | 1.946 | | |

D'après cela nous aurions pour les maximums élevés :

| | au-dessus de | 2.5 m. | 2.6 m. | 2.7 m. | 2.8 m. |
|------------|--------------|--------|--------|--------|-----------|
| avant 1840 | . | 4 | 3 | 3 | 3 années |
| après 1840 | . | 13 | 8 | 3 | 1 années. |

Et pour les maximums peu élevés :

| | au-dessous de | 2.0 m. | 1.9 m. | 1.8 m. | 1.7 m. | 1.6 m. |
|------------|---------------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| avant 1840 | . | 14 | 10 | 6 | 1 | 1 années |
| après 1840 | . | 3 | 2 | 1 | 1 | — années. |

Si l'on peut émettre quelques critiques justifiées contre les maximums très élevés, il n'en est pas de même des maximums très bas qui ne sont influencés en rien par les accidents météorologiques (orages d'été).

D'une manière comme de l'autre j'arrive au même résultat, c'est qu'il y a eu plus de maximums élevés et moins de maximums bas après 1840 qu'avant, et cette étude confirme les résultats que m'ont donnés les calculs des moyennes limnimétriques.

Il y a donc, d'après les valeurs limnimétriques à notre disposition, la preuve de modifications assez importantes dans le régime du lac. Malgré les années exceptionnellement bas-

ses de 1857 et 1858, le lac montre, dans ses moyennes et ses maximums, aussi bien que dans ses minimums, une tendance très marquée à élever ses eaux depuis 1840. Cette tendance est fortement exagérée, depuis 1870. Il y a donc ce que nous avons appelé des variations séculaires.

Trois explications ont été proposées pour rendre compte de ces variations séculaires qui ont élevé la hauteur du lac dans les dernières années.

La première a été développée par M. Ph. Plantamour dans une lettre au *Journal de Genève* en date du 15 juin 1879¹. Ce physicien, constatant que les hautes eaux se maintiennent depuis quelques années à un niveau plus élevé qu'auparavant, attribue ce fait aux travaux de déboisement et aux endiguements du Rhône en Valais. Cette théorie a pour elle quelque chose de vrai, mais j'estime qu'elle est très loin d'expliquer à elle seule tous les faits observés.

Il est incontestable que le déboisement des montagnes et le défrichement des forêts de plaine ont un effet sur les affluents du lac²; l'eau séjourne moins longtemps sur et dans le sol, elle s'écoule plus vite dans les torrents. Il est de même incontestable que les endiguements du Rhône et de quelques-uns de ses affluents ont un effet analogue³; ces rivières ap-

¹ V. Duplique de Genève, p. 97.

² Si nous voulions disputer sur les détails, nous pourrions faire remarquer que les déboisements ne sont pas si importants qu'on veut le dire, et que soit dans le Valais, soit dans les Alpes vaudoises, les lois de la science forestière sont observées aussi bien qu'ailleurs.

³ Pour aider à l'appréciation des effets de l'endiguement, voici un chiffre exact qui m'a été communiqué par M. Zen Ruffinen, ingénieur des ponts et chaussées du Valais. La surface inondée en Valais par la crue du Rhône de 1860, une des plus fortes connues, est évaluée à 7100 hectares, soit 71 kil.

Supposons, en exagérant les choses, qu'une hauteur d'eau de 40 centimètres ait été versée sur cette surface : cela représente 28 millions de m³, qui, jetés en une fois sur le lac, occasionneraient une crue de 49^{mm}.

Les travaux d'endiguement du Rhône ont été commencés en 1862.

portent un peu plus vite au lac l'eau, qui ne divague plus dans les bas côtés du fleuve.

Il résulte de cela que, l'eau étant apportée plus rapidement au lac et y étant versée en plus grande masse, les crues du lac doivent être plus violentes et plus subites. C'est à cela que je rattache les faits observés des crues considérables du 24 mai et du 30 août 1878, et de la fin octobre 1880, crues dont nous ne connaissons pas d'analogues authentiques, dans les temps antérieurs aux endiguements systématiques du Rhône.

Or ces crues abusives, si elles ont lieu pendant les hautes eaux, peuvent modifier sensiblement la valeur du maximum de l'année. Nous pouvons donc admettre que de ce fait il y ait une légère aggravation dans la hauteur des maximums récents, et qu'il faille attribuer à cela une faible partie de la différence constatée entre les maximums des dix dernières années et ceux des années précédentes. Dans les cinq dernières années dont j'ai publié les tracés limnimétriques, cela a été le cas une seule fois, en 1878; il est évident que le maximum du 2 septembre 1878 aurait été un peu moins élevé, si les effets de l'endiguement ne s'étaient pas fait sentir.

Tant donc que pour étudier la hauteur du lac on ne disposait que des hauteurs des maximums, on pouvait attribuer une certaine valeur à cette théorie des endiguements, et expliquer une partie, une faible partie à ce que je crois, des variations observées, par ces modifications dans l'apport des affluents.

Mais cette explication n'est plus valable pour les variations que nous constatons dans les moyennes. En effet, si les modifications en question dans le régime des affluents du lac peuvent déterminer des crues partielles plus rapides, et par conséquent de plus grandes inégalités sur la courbe limnimétrique annuelle, elles ne sauraient avoir d'action sur les moyennes mensuelles ou annuelles.

Comme la quantité d'eau qui sort du lac est fonction de la hauteur du lac, et comme il ne peut sortir du lac ni plus d'eau ni moins d'eau qu'il n'y en entre, si l'on prend une période

suffisante, dans laquelle disparaissent les détails de la plus ou moins grande rapidité des crues, si l'on trouve une surélévation des moyennes de hauteur du lac, l'on est en présence de l'alternative suivante : ou bien admettre des modifications dans le débit de l'émissaire, ou bien chercher des variations dans la quantité de l'eau entrée dans le lac.

Or, si nous pouvons reconnaître aux déboisements et aux endiguements un certain effet sur la rapidité avec laquelle l'eau est apportée dans le lac, il m'est impossible d'y voir une action sensible sur la quantité même de cette eau; l'eau s'écoule plus rapidement, mais c'est toujours la même quantité d'eau qui a été apportée par l'atmosphère sous forme de pluie, de neige, etc. En effet, sauf le cas de vents généraux secs, qui peuvent se charger un peu d'humidité dans leur passage sur nos vallées, les phénomènes d'évaporation sont compensés par ceux de condensation; la petite quantité de vapeur d'eau que l'évaporation enlève à un marais se dépose dans la grande majorité des cas¹ sous forme de rosée, de pluie ou de neige, dans la vallée elle-même ou sur les montagnes avoisinantes. Quant à l'eau qui pénètre dans le sol, elle n'est pas perdue et se retrouve dans les sources; l'eau absorbée par les plantes est rendue à l'atmosphère, et de là se condense à nouveau en rosée ou en pluie.

C'est donc à des valeurs infiniment faibles que se réduit l'effet des endiguements et déboisements sur la quantité d'eau apportée au lac.

D'un autre côté la variation dans la quantité d'eau apportée au lac qui, dans l'hypothèse de non-modification du débit de l'émissaire, est nécessaire pour expliquer les variations de hauteur de l'eau, est très loin d'être infiniment petite.

Pour l'évaluer je laisse de côté les mois d'hiver pendant lesquels l'influence du barrage mobile est un élément de perturbation; je ne m'adresse qu'aux mois de juin, juillet, août et septembre; j'utilise les débits du Rhône dont nous appren-

¹ Tant que l'air est calme ou qu'il ne souffle que des brises locales.

drons plus loin à établir la valeur, et je calcule le débit moyen du Rhône à Genève pendant ces quatre mois dans les différentes périodes de ce siècle.

| | 1818-1840 | | 1841-1860 | | 1861-1880 | |
|-------------|-----------|----------------|-----------|----------------|-----------|----------------|
| | H. moyen. | Débit du Rh. | H. moyen. | Débit du Rh. | H. moyen. | Débit du Rh. |
| | m. | m ³ | m. | m ³ | m. | m ³ |
| Juin . . | 1.375 | 282 | 1.598 | 325 | 1.891 | 373 |
| Juillet . . | 1.869 | 368 | 2.004 | 395 | 2.242 | 446 |
| Août . . | 2.020 | 396 | 2.074 | 407 | 2.326 | 467 |
| Septemb. | 1.806 | 356 | 1.775 | 350 | 2.051 | 403 |

D'après ces chiffres le débit moyen du Rhône, de juin en septembre, aurait été approximativement :

| | Débit par seconde. | Par jour. | Pour les 4 mois. |
|---------|--------------------|----------------------------|---------------------------------|
| 1818-40 | 350 m ³ | 30 millions m ³ | 3700 millions de m ³ |
| 1841-60 | 369 | 32 » » | 3898 » » |
| 1861-80 | 422 | 36 » » | 4457 » » |

Ces variations dans la quantité d'eau enlevée au lac, et par suite dans la quantité d'eau apportée au lac, sont tellement fortes, qu'il est impossible de les attribuer aux effets des endiguements du Rhône en Valais.

D'après cela j'estime insuffisante la théorie qui cherche dans les déboisements et les endiguements des rivières du bassin d'alimentation, l'explication des variations séculaires de la hauteur du lac.

Une seconde explication des variations de hauteur du lac a été proposée par M. H. de Saussure, dans son importante et intéressante étude sur la Question du lac¹; elle est fort précieuse et mérite d'être considérée attentivement.

M. de Saussure cherche à rendre compte du passage pro-

¹ P. 30 sq.

gressif de la période de basses eaux, 1857-1858, à une période de hautes eaux, 1870-1879, en le rapportant à l'état de retraite des glaciers du Valais. Il constate que la période actuelle d'exhaussement du lac a débuté presque en même temps qu'une période de retraite des glaciers; que le glacier du Rhône en particulier s'est mis en retraite vers 1858, à la même époque où le lac s'est mis à croître, 1859; que l'état de maximum du lac en 1879 correspond au maximum de retraite des glaciers; enfin que la plupart des glaciers du bassin du Rhône sont actuellement en état de retraite extrême. Il conclut de ce retrait du front des glaciers à une fonte extraordinaire de la glace, à un débit extraordinaire des torrents glaciaires, et il trouve dans cette coïncidence l'explication de l'exhaussement progressif du lac.

Il y aurait bien des objections de détail à opposer à cette théorie. On pourrait montrer qu'à un état d'avancement extrême des glaciers ne correspond pas toujours un état de très basses eaux du lac; que, au contraire, pendant les années 1816 et 1817 où le lac a été exceptionnellement haut, la plupart des glaciers du Valais étaient en état de progression extrême. On pourrait montrer que rien n'indique dans la retraite des glaciers une accélération correspondant à la progression évidente dans la hauteur du lac; le glacier du Rhône, puisque c'est lui qui sert de base à la théorie, s'est mis en retraite en 1857; en 1857 et 1858 le lac a été exceptionnellement bas; le glacier reculait de 1859 à 1865, époque où les eaux du lac étaient à hauteur moyenne; il reculait de même de 1865 à 1870, époque où les maximums du lac commençaient à être élevés; il reculait de même de 1871 à 1879 quand le lac était exceptionnellement haut; il reculait encore en 1880, année où le lac a été exceptionnellement bas.

Mais ce qui montre surtout l'insuffisance de cette nouvelle théorie, c'est le fait général que les dernières années d'études sur les glaciers ont démontré. C'est par longues périodes que le front du glacier avance ou recule, sans qu'il y ait alternative d'arrêt dant sa marche ou de marche en sens contraire

au milieu de la période ¹; il n'y a pas dans la longueur du glacier de variations annuelles, il n'y a que des variations décennales, deux fois décennales ou sémi-séculaires. Ainsi le glacier du Rhône recule depuis 1857 sans qu'il y ait eu une seule année d'arrêt ou de marche en avant; le glacier des Bossons a été en retraite de 1853 à 1878, etc. Ce fait prouve que le facteur important dans les variations de grandeur des glaciers ne réside pas dans la fonte de la glace; les agents qui déterminent la fusion de la glace, température, humidité, vents, sont en effet essentiellement variables d'une année à l'autre, et il est impossible d'admettre que l'ablation, qui dépend de leur résultante, se maintienne constamment pendant 20 et 25 ans au-dessus ou au-dessous de sa valeur moyenne. Le facteur important pour les variations de grandeur des glaciers est donc la vitesse d'écoulement. Par des causes qui ne sont pas encore éclaircies, la vitesse d'écoulement varie par longues périodes; le front du glacier avance dans la période où la vitesse d'écoulement dépasse la valeur moyenne de l'ablation; il recule dans les périodes où la vitesse d'écoulement est plus faible ².

La retraite actuelle des glaciers indique donc, à mon sens, une diminution dans la rapidité de l'écoulement des fleuves glacés, donc un ralentissement dans le transport de l'eau qu'ils amènent des sommets dans les vallées. En résulte-t-il une diminution dans la quantité d'eau qui s'écoule par les torrents alpins? Non pas directement, car le débit de ces torrents glaciaires est réglé uniquement par la valeur de la fonte de la glace et de la condensation de la vapeur d'eau, et il est

¹ Ces alternatives, quand il y en a, sont insignifiantes au milieu du mouvement général.

² Les beaux travaux de M. Gosset au glacier du Rhône, ont montré que dans les dernières années la vitesse d'écoulement n'est plus, en moyenne, que de 6 m. par an près de l'extrémité inférieure du glacier, tandis qu'une ablation verticale d'environ 8 m. détermine un recul du front de 30, 40 ou 50 mètres par an. (Résumé de M. E. Hagenbach du travail couronné de Gosset; session de Brigue de la Soc. helv. des sc. nat. 1880).

en dépendance directe des facteurs météorologiques de l'année, température, humidité, vents. Mais il est évident que, toutes choses égales, le débit d'eau des torrents glaciaires doit être plus fort lorsque le glacier est plus long et descend plus bas dans la vallée, que lorsqu'il avance moins loin ; la différence doit être, du reste, peu importante ¹.

La troisième explication proposée pour rendre compte des variations de hauteur du lac, les attribue, pour la surélévation des eaux d'hiver, à une utilisation plus complète des barrages mobiles de Genève, pour la surélévation générale des eaux de l'année aux constructions nouvelles faites à la machine hydraulique de 1839 à 1843, en 1863 et de 1870 à 1872, au port de Genève vers 1856 et 1857, etc. Ces constructions nouvelles auraient plus encombré le lit de l'émissaire que la destruction d'obstacles antérieurs, estacades, claies, anciens barrages, usines et moulins ne l'aurait désobstrué.

Je n'ai pas de faits nouveaux à apporter sur cette question.

¹ Je veux corriger ici une appréciation erronée que j'ai émise dans la *Gazette de Lausanne* du 14 août 1877. Après avoir décrit l'inondation de l'été de 1877 et après avoir constaté l'insuffisance évidente du débit de l'émissaire de Genève, j'ai fait une comparaison entre les hautes eaux de notre lac et celles des autres lacs suisses. J'ai montré que, pour ces derniers, la période de très hautes eaux avait été beaucoup moins longue que pour le lac Léman, et j'ai attribué cette plus grande durée de l'inondation du Léman à cette même insuffisance du débit du Rhône. Il y avait là une erreur. La différence à ce point de vue dans les allures des divers lacs provient essentiellement de la proportion différente des glaciers et neiges éternelles qui forment une part plus ou moins grande du bassin d'alimentation. Cette part est énorme pour le lac Léman, plus du huitième du bassin total d'alimentation. Il en résulte, d'une manière générale, que, tandis que la crue d'inondation de l'été des autres lacs (lac de Constance, p. ex.) est occasionnée surtout par la fonte des neiges de l'hiver et du printemps et qu'elle cesse aussitôt que cette neige est fondue, dans notre Léman, la grande crue de l'été est essentiellement sous la dépendance des torrents glaciaires qui augmentent leur débit pendant toute la période des grandes chaleurs.

§ XXXII. — Résumé de l'étude historique.

Je résumerai comme suit les faits limnimétriques qui, d'après l'étude ci-dessus, sont à la base du Procès du Léman, considéré au point de vue historique; je laisserai à d'autres les questions hydrauliques et juridiques.

1° Il est évident que, avant l'établissement des premiers barrages de la machine hydraulique de Genève en 1713, les basses eaux d'hiver ont été beaucoup plus basses qu'aujourd'hui (carrières de Fraidaigues et de Pully, arrêt de la navigation sur le banc du Travers).

2° Il est probable que les hautes eaux d'été étaient, pendant le moyen-âge, sensiblement plus basses que les hautes eaux actuelles de 1870 à 1880 (hauteur des constructions dans les villes riveraines).

3° Il y a eu dans les cent dernières années des modifications dans le régime du lac.

4° Les basses eaux, après avoir eu une période de très faible hauteur, de 1820 à 1840, sont très notablement relevées depuis 1840; ce relèvement est très exagéré dans les vingt dernières années.

5° Les hautes eaux, exprimées par les maximums, sont très notablement supérieures, dans les quarante dernières années, à ce qu'elles étaient avant 1840; il y a cependant à noter que depuis 1840 il y a eu des années à maximum très bas, 1857, 1858, et qu'avant 1840 il y a eu des années à maximums très élevés, 1792, 1816, 1817.

L'on ne connaît, dans l'histoire ancienne du lac, rien d'analogue à la période moderne, où presque tous les maximums ont été relativement très élevés.

6° Les moyennes annuelles subissent un relèvement considérable dans les périodes récentes; ce relèvement est de

165^{mm} dans la période de 1841 à 1860, de 433^{mm} dans la période de 1861 à 1880 comparées à la période 1818 à 1840 (avec une incertitude de $\pm 50^{\text{mm}}$).

7° L'étude des moyennes mensuelles montre que ce relèvement est dû non-seulement au relèvement des eaux d'hiver mais aussi à celui des eaux d'été; il est le plus fort dans les mois du printemps, un peu moins marqué dans ceux de l'hiver, puis dans ceux de l'été; il est le plus faible dans les mois d'automne.

§ XXXIII. — Le Procès du Léman, question actuelle.

Laissons maintenant de côté la question historique du Procès du Léman et abordons la question actuelle plus directement intéressante; elle peut se formuler comme suit :

Le régime actuel de la hauteur des eaux du lac est-il bon? Tient-il suffisamment compte des divers intérêts généraux qui sont en présence? Si ce régime est mauvais, à qui en revient la faute? Si ce régime est mauvais, comment le corriger?

Pour savoir si le régime actuel du lac est bon, cherchons d'abord quels sont les intérêts généraux dont il y a lieu de tenir compte. Je les décrirai sous quatre chefs : la navigation, les réparations aux murs des quais, les inondations, l'alimentation d'eau de la ville de Genève.

1° *La navigation.* Il est d'intérêt général pour tous les riverains que la navigation ne soit pas entravée, que barques de commerce et bateaux à vapeur, du tonnage usité sur le lac, puissent aborder dans les ports et puissent en particulier entrer à Genève.

Tous les ports des rives genevoises, vaudoises et valaisannes ont été construits à une époque où les eaux d'hiver étaient beaucoup plus basses qu'actuellement; les nouveaux ports de

la rive savoyarde, Evian, Thonon, Meillerie, ont une grande profondeur d'eau. Le seul point difficile est l'entrée du port de Genève, le passage du banc du Travers. Dans l'état actuel des choses, c'est lui seul qui doit être considéré, et si les barques et bateaux peuvent le franchir, la navigation sera à son aise sur tout le lac.

Le tirant d'eau des barques actuelles du lac est de 1.20 m. à 1.50 m.; celui des bateaux à vapeur de faible tonnage, qui naviguent seuls en hiver, est de 1.20 m. à 1.40 m. En tenant compte des vagues et des seiches ordinaires du lac, j'estime que les intérêts de la navigation sont suffisamment ménagés s'il reste encore aux basses eaux, sur le banc du Travers, une hauteur de 2.0 m. d'eau.

Or si nous consultons la carte actuelle de la rade de Genève, pl. I de la Réponse de Genève, nous voyons que la passe de l'entrée du port est partout comprise entre les courbes horizontales de RPN — 4.14 m. et — 4.64 m., ce qui rapporté à notre zéro limnimétrique donne ZL — 1.14 m. et — 1.64 m. Prenons le chiffre le plus élevé — 1.15. Il faut donc, pour que le port de Genève reste abordable à nos bateaux actuels, que le lac ne descende jamais au-dessous de

$$\text{ZL} - 1.15 + 2.0 = + 0.85 \text{ m.}$$

Ce chiffre fait très largement la part de toutes les éventualités, il pourrait être abaissé de 20 cm. sans qu'il y eût de grands inconvénients.

Comment maintenir un niveau aussi élevé du lac pendant la saison des basses eaux, alors que le débit normal de l'émissaire descend à 100 m³ à 80 m³ à la seconde, alors que le banc du Travers, s'il formait à lui seul le barrage retenant les eaux du lac, n'aurait plus que quelques décimètres de profondeur d'eau. Cela s'obtient en partie par les obstacles fixes qui arrêtent le fleuve au-dessous du banc du Travers, en partie depuis 1715 par l'établissement aux basses eaux d'un barrage mobile au haut de l'île de Genève. Ce barrage diminue assez le débit du Rhône, pour que le lac ne descende pas au-des-

sous de la hauteur voulue. Avec un barrage bien établi, l'on pourrait maintenir le lac à une hauteur quelconque, pourvu qu'elle soit inférieure à la hauteur du maximum de l'été.

Les barrages actuels du pont de la machine de Genève suffisent amplement au but désiré; l'expérience de l'hiver de 1879-1880, dans lequel nous avons eu une période exceptionnellement longue de froids et de beau temps, pendant laquelle tous les affluents du lac sont descendus à l'étiage, nous montre que, même avec l'état imparfait des barrages, on peut maintenir le lac assez élevé pour tous les besoins de la navigation; dans l'hiver de 1880 le lac n'est pas descendu au-dessous de 0.98 m.

Dans les 20 dernières années le lac n'est descendu qu'une seule fois au-dessous de la cote 0.85 m. que nous admettons comme minimum désirable, à savoir en 1874 à la cote 0.798 m. A ce point de vue donc des intérêts généraux de la navigation, l'état actuel des choses est bon, et dans toute correction future des débouchés du lac il y aura lieu de maintenir les basses eaux d'hiver à une hauteur minimale de $ZL + 0.85$ m.

2° *Les réparations aux murs des quais.* Une bonne partie des villes riveraines du lac, de Villeneuve et du Bouveret à Genève, ont été construites à une époque où les basses eaux de l'hiver étaient normalement de 50 cm. à 1 m. au-dessous de la hauteur actuelle. Les murs des quais, jardins, terrasses, etc., sont donc actuellement constamment baignés par l'eau, et les réparations nécessaires ne peuvent pas se faire; depuis 1842 le lac n'est descendu qu'une fois, en 1858, à la cote 0.6 m.

Il y aurait convenance à laisser de temps en temps, chaque dixième hiver par exemple, les eaux du lac descendre pendant quelques semaines, au mois de mars, à la cote 0.6 m., ou même 0.5 m., afin que tous les riverains, prévenus à l'avance, puissent faire les réparations et constructions nécessaires.

Il y aurait pour ces quelques semaines conflit entre cet intérêt de conservation et les intérêts de la navigation; une

transaction équitable entre ces intérêts opposés ne serait pas difficile à ordonner.

3° *Les inondations.* Lorsque les eaux du lac s'élèvent à la cote 2.4 m., sitôt qu'un vent un peu fort souffle du large, les propriétés riveraines sont en souffrance; par 2.5 m. commence l'inondation pour les bâtiments les plus exposés; par 2.6 m. l'inondation devient générale sur les rives du lac.

Or, dans l'état actuel des choses, les inondations sont trop fréquentes et trop longues. Dans les dix dernières années nous avons vu le lac monter au-dessus des cotes d'inondation 2.5 et 2.6 m. pendant le nombre de jours que voici :

| | au-dessus de 2.5 m. | de 2.6 m. |
|-------|---------------------|-----------|
| 1871 | 7 jours | — |
| 1872 | 20 | 5 jours |
| 1873 | 25 | 10 |
| 1874 | 6 | — |
| 1875 | — | — |
| 1876 | 53 | 30 |
| 1877 | 71 | 54 |
| 1878 | 9 | 3 |
| 1879 | 66 | 59 |
| 1880 | — | — |
| Total | 257 | 161 |

Ainsi donc, depuis 1871, il y a eu 8 années dans lesquelles le lac a dépassé la cote 2.5 m. et cela pendant un total de 257 jours, et 6 années dans lesquelles il a dépassé la cote 2.6 m. pendant 161 jours en total.

L'énoncé de ces chiffres suffit à montrer que l'état actuel des choses est fâcheux au point de vue de l'intérêt général des riverains, qui ont droit à ne pas être inondés.

4° *L'alimentation d'eau de la ville de Genève.* La ville de Genève a droit à une alimentation d'eau abondante et même surabondante; elle a le droit de prendre cette eau dans le lac ou dans le Rhône, cela est incontestable. Pour élever cette

eau à une hauteur convenable elle a besoin d'une force motrice considérable ; jusqu'en 1880 elle n'a demandé cette force motrice qu'à ses machines hydrauliques mises en jeu par la chute du Rhône à la sortie du lac ; depuis 1880 elle y a joint une machine à vapeur établie à la Coulouvrenière.

Dans les dix dernières années les machines hydrauliques situées en tête de l'île de Genève ont été notoirement insuffisantes, et quoique rien n'ait été négligé pour leur faire rendre l'effet utile le plus considérable, le service des eaux a été bien loin de suffire aux besoins de la ville de Genève et de sa banlieue. Au point de vue financier, la ville de Genève, marchande d'eau, a très largement bénéficié de son entreprise, mais au point de vue du public le service a été fort défectueux, et les plaintes incessantes dont les journaux locaux ont été remplis, prouvent que la quantité d'eau fournie par la ville à ses abonnés a trop souvent été au-dessous de celle à laquelle ils avaient droit.

Depuis l'année actuelle, 1880, une machine à vapeur de renfort, de la force de 100 chevaux, capable d'élever à hauteur convenable 9000 litres à la minute, est venue suppléer à l'insuffisance des forces motrices de roues et turbines hydrauliques de l'île. Le bénéfice que fera la ville sur la vente de l'eau sera un peu moins fort, mais le public sera dorénavant suffisamment servi ; il recevra régulièrement l'eau qu'il paie à la ville.

En résumé, à la question : le régime actuel du lac tient-il compte des divers intérêts généraux en présence ? je réponds : Il lèse les riverains de deux manières :

1° Par un état constamment très élevé des basses eaux, il rend impossibles les travaux de réparation et de reconstruction des murs des quais. — Les basses eaux devraient être abaissées tous les dix ans, pendant quelques semaines, au printemps, à la cote 0.5 ou 0.6 m.

2° Par des inondations trop fréquentes et trop prolongées,

il cause du tort aux maisons et propriétés riveraines. — Le lac ne devrait jamais dépasser la cote 2.4 ou 2.5 m.

Qui est responsable des défauts de ce régime du lac ?

Tant que le Léman était un lac sauvage, les écarts et irrégularités du régime de ses eaux n'étaient que le fait des agents naturels. Les variations dans l'apport des affluents déterminaient seules les variations rapides dans la hauteur du lac ; les modifications occasionnées à l'émissaire par l'érosion du lit ou par le dépôt des alluvions provoquaient seules les variations séculaires à longue échéance et à long effet.

Depuis que l'homme est venu s'installer dans notre vallée, son action s'est fait sentir sur le régime du lac :

1° En modifiant l'apport d'eau des affluents, soit par des déboisements qui facilitent l'écoulement des eaux, soit par des endiguements de rivières et torrents qui apportent plus vite au lac l'eau des affluents. Nous avons vu plus haut que cette action doit être nulle ou presque nulle sur le lac.

2° En modifiant d'une manière continue le lit de l'émissaire par des constructions qui entravent ou facilitent le débit du fleuve ; en fait d'obstacles on peut citer les jetées, ponts, barrages fixes, estacades, claies, usines bâties dans le Rhône, etc.; en fait de facilités données à l'écoulement du fleuve on peut compter toute suppression d'obstacle antérieur, l'endiguement rationnel du Rhône et les draguages artificiels.

3° En modifiant d'une manière temporaire le débit du fleuve par des barrages mobiles, destinés à relever les eaux de l'hiver, pour rendre possible l'accès du port de Genève et pour augmenter la hauteur de chute sous les roues de la machine hydraulique.

Ces divers travaux exécutés pour l'utilité ou l'agrément d'une partie de la population de la vallée sont parfaitement légitimes. Tant qu'ils ne lèsent pas les intérêts des voisins ils ne peuvent soulever aucune objection. Mais, dès que du fait de ces travaux les voisins ont à se plaindre d'un tort effectif

et notable, il va de soi que l'auteur de ces travaux doit en être responsable, qu'il doit, ou bien dédommager ceux qui souffrent, ou bien corriger ses constructions, ou bien par des travaux en sens inverse annuler l'effet nuisible de ses constructions défectueuses ¹.

Le régime actuel du lac est un régime artificiel, ou modifié artificiellement par les constructions de Genève. Pour nous rendre compte de l'effet des constructions actuelles, supposons-les supprimées et voyons quel serait le régime du lac, dans cette supposition; je ne dois pas me tromper beaucoup en le décrivant comme suit :

1^o Supprimons le barrage mobile de la machine hydraulique. Les eaux d'hiver, qui actuellement sont maintenues à la cote 0.8 à 1.2 m., s'abaisseraient considérablement, plus ou moins suivant la température et l'humidité de l'hiver, mais descendraient ordinairement, ou tout au moins souvent, à des cotes très inférieures, 0.5 m., 0.2 m., 0.0 m., peut-être même plus bas ². Le lac remonterait au printemps quand les affluents grossiraient, mais la crue du printemps serait notablement retardée, les eaux n'arriveraient que beaucoup plus tard à leur maximum, le plus souvent elles n'atteindraient pas les maximums actuels ³.

L'effet du barrage mobile est donc de relever les eaux d'hiver, d'avancer la crue du printemps, de prolonger les hautes eaux de l'été, d'élever les maximums ⁴, de diminuer l'amplitude des variations estivales du lac. Le barrage mobile a donc un effet positif sur le régime du lac ⁵; de ce fait donc le régime du lac est artificiel.

¹ Je n'ai pas la prétention, il est superflu de le dire, de traiter la question au point de vue juridique, je ne me base que sur les notions d'évidence et de sens commun.

² Cf. la hauteur des anciennes carrières de Fraïdaigue, Pully, etc.

³ Cf. mon étude hypothétique sur les hautes eaux de 1879, § XXX. p. 38.

⁴ Quand ceux-ci ne tombent pas à la fin de l'été.

⁵ Cet effet du barrage mobile est en partie utile à tous les riverains, cela n'est pas en discussion.

2° Supprimons, outre le barrage mobile, le barrage fixe de la machine hydraulique. Le régime que nous venons d'esquisser sera maintenu, mais pendant toute l'année le lac resterait à une cote de quelques décimètres plus basse ¹.

L'effet du barrage fixe est donc de relever de quelques décimètres la hauteur des eaux du lac.

3° Supposons que les barrages fixes et mobiles de la machine hydraulique soient conservés et fonctionnent comme maintenant.

Supprimons les deux nouvelles ailes de la machine, bâties depuis 1863 et 1871, supprimons l'ancien corps de la machine bâti vers 1840 ; la largeur du fleuve en serait d'autant augmentée, son débit serait plus considérable, et les hautes eaux de l'été seraient moins élevées, toutes choses égales d'ailleurs.

Supprimons les ponts des Bergues, du Mont-Blanc, l'île Rousseau, débarrassons le port de tous ses obstacles artificiels, le cours du fleuve en serait facilité et les hautes eaux moins élevées.

¹ Dans la Duplique de l'Etat de Genève, il est donné à l'annexe n° 3, une formule qui étudie l'effet du barrage fixe sur le lac, et qui n'arrive de ce chef qu'à une surélévation de 57^{mm} seulement. Je ne me laisse pas arrêter par ce calcul. L'auteur de cette formule voit dans le barrage fixe une digue noyée sur le trajet du fleuve et fort loin du lac ; il ne donne pas attention au fait que ce barrage est le point des débouchés du lac où le fond est le plus élevé, et où la section du fleuve est la plus rétrécie. Le rebord supérieur du barrage fixe du pont de la machine est notablement plus élevé que le banc du Travers. Le barrage du pont de la machine est donc le véritable déversoir du lac ; tout ce qui augmenterait la section en ce point, soit en l'approfondissant par la destruction du barrage fixe, soit en l'élargissant par la suppression du bâtiment de la machine, agirait directement sur la hauteur du lac.

Que l'on ne vienne pas nous dire que ce barrage est situé trop loin du lac pour avoir un effet sur la hauteur de celui-ci ; il suffit d'un instant de réflexion pour voir que tout barrage, dont le sommet dépasse la hauteur du déversoir naturel du lac, relèvera d'autant plus les eaux du lac qu'il sera placé plus loin sur le cours du fleuve. Un barrage élevé à la cote RPN — 4.33 m. qui serait bâti à la jonction de l'Arve, à Chancy ou à Bellegarde, relèverait bien plus encore le lac que ne le fait le barrage actuel du pont de la machine.

Supprimons les nouvelles jetées du port qui barrent la rade de Genève et causent une chute de quelques centimètres, les hautes eaux du lac seront abaissées de 8 cm. environ¹.

Donc l'effet de toutes ces constructions en entravant le cours du fleuve est de surélever les hautes eaux du lac. Cet effet n'est actuellement sensible qu'en été; en hiver, quand le barrage mobile relève considérablement l'eau dans le port, la section du fleuve est partout plus que largement suffisante pour le très faible débit du Rhône. Mais dans la supposition de la suppression du barrage mobile, ces constructions auraient un effet positif pendant toute l'année.

4^o Supposons enfin le Rhône entièrement débarrassé de tout obstacle artificiel jusqu'à l'île de Genève, jetées, ponts, barrages, bâtiment de la machine, etc., le régime du lac serait fort différent de ce qu'il est. Il y aurait encore ses grandes variations estivales, mais l'amplitude de ces variations, soit la différence entre le maximum et le minimum, serait considérablement augmentée. En second lieu il y aurait abaissement général de la hauteur du lac, aussi bien aux hautes eaux, qu'aux eaux moyennes ou aux basses eaux; cet abaissement serait probablement de plus d'un mètre. Ce régime serait déplorable, et aussi fâcheux pour tous les riverains du lac que pour la ville de Genève, mais ce serait le régime naturel du lac.

Ainsi donc le régime actuel du lac est un régime artificiel, dépendant des constructions faites dans le port et le Rhône à Genève et les opérations des barrages de la machine hydraulique; Genève est donc responsable des écarts de ce régime.

Reprenons ce même raisonnement sous une autre forme en ne l'appliquant qu'à une seule construction.

¹ Nous verrons que depuis 1830 la pente de la sortie du lac jusqu'à l'île Rousseau a augmenté de 12 cm. environ, aux hautes eaux.

Genève a exproprié le Rhône à sa sortie du lac pour en utiliser la force motrice en la faisant agir sur les roues hydrauliques de ses pompes à eaux; elle a barré le cours du fleuve par un barrage fixe qui détermine une chute artificielle; elle ferme chaque hiver son barrage mobile pour emmagasiner l'eau qui lui est nécessaire; elle a construit en travers du fleuve un énorme édifice destiné à loger les machines hydrauliques, édifice qui rétrécit notablement la largeur du Rhône. Tout cela lui donne une force d'environ 200 chevaux, dont elle tire lucre et profit. Mais, si les avantages pécuniaires de ces travaux et constructions sont fort importants pour la ville de Genève, sa responsabilité pour le tort qu'ils peuvent causer est évidente, et elle est tenue d'aménager ses installations de telle manière qu'elles n'occasionnent aucun détriment à ses voisins.

Un usinier reçoit une concession sur un cours d'eau pour utiliser la chute de la rivière; il construit un barrage, il creuse un bief, il installe des artifices et profite de la force motrice. Jamais il n'est venu à l'idée de personne qu'il ne fût pas responsable des dégâts que pourrait causer la rivière, en conséquence d'un barrage trop élevé ou du mauvais agencement des installations et canalisations; il doit faire ses constructions de telle manière que la rivière puisse débiter toute l'eau que les météores et que les sources y verseront; et quand bien même il se passerait dix ou vingt ans avant qu'une crue extraordinaire de la rivière ait prouvé l'insuffisance de ses canaux de décharge, dès le jour où cette insuffisance sera démontrée par l'expérience, il sera responsable des dégâts et devra corriger ses constructions.

J'estime donc que Genève, qui a transformé en un régime artificiel le régime naturel du lac, est responsable des écarts de ce régime, et qu'elle doit corriger ses installations pour suffire à tous les besoins et à toutes les possibilités actuelles et futures.

Cela est si vrai et si évident que Genève s'est en général soumise aux nécessités de la situation. A mesure que les besoins de son service des eaux se développaient, elle était

obligée d'augmenter la force motrice de ses machines hydrauliques, et par suite d'élever la hauteur de chute de ses barrages. Mais en même temps qu'elle modifiait ainsi le régime du Rhône en en diminuant le débit relatif, elle cherchait à corriger les effets fâcheux de ces constructions en facilitant d'un autre côté le débit du fleuve; et c'est dans ce but de compensation qu'elle a successivement enlevé ses estacades, ses claies, ses usines, ses bains, moulins et autres obstacles qui encombraient le cours du fleuve.

Genève a senti qu'elle était responsable du régime du lac, et a toujours de son mieux cherché à satisfaire aux nécessités de ce régime.

Comment corriger les défauts du régime actuel du lac ?

Je viens de montrer comment et en quoi le régime actuel du lac est mauvais, et comment, à mon avis, Genève qui a transformé le régime naturel du lac en un régime artificiel aménagé selon ses intérêts, est responsable des écarts de ce régime qui nuisent à ses voisins. Cherchons maintenant comment on peut le corriger. Y a-t-il moyen de corriger le régime du lac d'une manière convenable; peut-on donner satisfaction aux intérêts légitimes actuellement en souffrance, sans blesser inutilement d'autres intérêts également légitimes ? Je le crois.

La solution de ce problème était fort difficile et fort onéreuse il y a quelques années; toute correction de l'état actuel des barrages, qui supprimerait les inondations du lac, modifierait les forces hydrauliques de la machine de l'Ile et compromettrait plus ou moins l'alimentation d'eau de la ville et de la banlieue de Genève. Or cette alimentation d'eau ne peut être interrompue; d'après cela, tous les projets de correction mis en avant jusqu'à présent commençaient par déplacer la machine hydraulique, la portant ou bien au-dessous de l'Ile, projet Pestalozzi et Legler, ou bien à la Coulouvrenière, projet Ritter et Henneberger, ou bien sur l'Arve, projets Lullin, Achard, etc.

La question me semble fort heureusement simplifiée par des modifications importantes apportées récemment au service des eaux de Genève. Au lieu de demander uniquement au Rhône la force motrice nécessaire pour refouler l'eau d'alimentation pompée dans le port, la ville de Genève, pour suppléer à l'insuffisance et aux irrégularités de cette force, s'est décidée à avoir recours à la vapeur. Elle a fait construire à la Coulouvrenière, en 1880, une première machine de secours capable de débiter 9000 litres à la minute; et elle fait construire actuellement une seconde machine de même force. Prochainement elle sera donc en mesure de débiter 18,000 litres à la minute sans utiliser en rien la chute du Rhône; or les besoins actuels étant d'environ 12,000 litres, l'alimentation d'eau de la ville de Genève est assurée dans toutes les éventualités.

Les conditions du problème sont ainsi modifiées. Il n'y a plus urgence à chercher à conserver en tous temps et toujours une force hydraulique de 100 ou 200 chevaux de puissance; même si l'on arrêterait complètement les roues et turbines de l'Ile de Genève, l'alimentation d'eau ne serait pas compromise. Elle deviendrait plus onéreuse mais elle continuerait d'une manière suffisante.

Est-ce à dire qu'il faille renoncer à la force motrice du Rhône et demander uniquement aux machines à vapeur la puissance nécessaire pour élever l'eau? Dans certaines circonstances cela peut devenir indispensable, mais quand il n'y aura pas nécessité il serait d'une mauvaise économie de perdre la force motrice du Rhône, qui peut être fort bien aménagée et utilisée sans qu'aucun intérêt légitime soit lésé.

J'estime qu'en modifiant convenablement l'état des barrages de la machine, il y a possibilité de corriger suffisamment les défauts du régime du lac, tout en utilisant mieux qu'actuellement la force motrice du Rhône. C'est ce que je vais essayer d'exposer.

Que la ville de Genève achève la construction de sa seconde machine de secours qui lui donnera un débit assuré de

18,000 litres à la minute, indépendant de la force motrice du Rhône.

Que la ville de Genève garde sa machine hydraulique actuelle et qu'elle la fasse fonctionner pour le mieux, tant qu'il n'en résultera pas de dommages à ses voisins.

Que la ville de Genève corrige ses barrages fixes et mobiles du pont de la machine de manière à pouvoir donner, cas échéant, libre cours au Rhône, en supprimant temporairement la chute que fait actuellement le fleuve dans ce point. Dans ces circonstances la machine hydraulique ne fonctionnera pas, et toute la force motrice sera demandée aux machines à vapeur; en dehors de ces circonstances la force motrice du Rhône sera entièrement au service de l'alimentation d'eau de la ville de Genève.

La seule construction à modifier est le barrage du pont de la Machine. Le barrage actuel est défectueux, insuffisant et sa reconstruction est projetée depuis longtemps; que l'on le reconstruise convenablement. Voici le plan qui me semblerait répondre à tous les besoins.

Que l'on enlève complètement toutes les constructions, barrages fixes, enrochements ou hauts-fonds qui font saillie sur le lit du fleuve à la hauteur du pont de la Machine; que l'on égalise, aussi bien que faire se peut, le lit du Rhône de manière à lui donner, en ce point-là, le plus grand débit possible; que l'on approfondisse autant que possible le bras gauche du fleuve en le draguant pour augmenter encore son débit. Cela fait, que l'on construise au ras du sol un seuil en maçonnerie absolument étanche, qui ne permette aucune espèce d'affouillement ou de perte d'eau.

Puis que sur ce seuil on élève un barrage mobile, le plus parfait, le plus léger, le plus étanche que trouvera l'art de l'ingénieur, barrage à vannes, barrage à aiguilles, selon que cela sera le plus commode.

Avec quelques draguages de propreté dans l'intérieur du port de Genève, et spécialement vers le pont du Mont-Blanc, il me semble qu'il y aurait là tout ce qui serait nécessaire en

fait de constructions pour la correction suffisante du régime du lac.

Comment faire jouer ces barrages pour donner satisfaction à tous les intérêts légitimes qui sont, je le rappelle :

1^o Maintien des eaux assez élevées en hiver pour que l'accès du port de Genève soit libre.

2^o Suppression des inondations en été.

3^o Utilisation de la plus grande quantité possible de la force motrice du Rhône pour l'alimentation d'eau de Genève.

4^o Possibilité d'abaisser chaque dix ans les basses eaux pour permettre les reconstructions des murs des quais du lac.

Si avec le barrage que je viens d'esquisser, j'avais à régler le niveau artificiel du lac pour donner satisfaction à ces divers desideratas, voici comment je l'établirais :

Sauf le cas des eaux d'inondation, je chercherais à obtenir une grande force motrice pour la Machine hydraulique. Dans le plan de la Machine actuelle, le bras droit du fleuve est le canal moteur, le bras gauche est le cours non utilisé du Rhône; pour avoir une force motrice on doit donc établir une chute dans le bras droit. Dans ce but il y aurait lieu de fermer complètement le barrage du bras droit du fleuve et de n'y laisser arriver l'eau que par les chenaux des roues et turbines hydrauliques. Sauf donc le cas de trop hautes eaux je fermerais absolument le barrage du bras droit du Rhône.

C'est en ouvrant plus ou moins le bras gauche que sauf le cas de très hautes eaux, je réglerais le niveau artificiel du lac. Je le fermerais absolument en hiver pour empêcher l'abaissement trop exagéré des basses eaux, et pour les maintenir aux cotes 0.8 ou 1.0 m., nécessaires à la navigation du lac. Je commencerais à l'ouvrir au printemps, quand le lac commencerait à s'élever; je l'ouvrirais plus ou moins suivant la hauteur de la crue estivale; je serais obligé de l'ouvrir entièrement dans les étés à crue moyenne.

D'après le régime connu du lac, je ne dois pas me tromper beaucoup en estimant que, dans plus de la moitié des étés,

l'ouverture totale du bras gauche du Rhône, s'il est convenablement approfondi et dragué, suffirait à maintenir la hauteur du lac au-dessous de la cote 2.4 m. et que l'on pourrait ainsi garder le bras droit entièrement fermé et conserver une chute motrice fort importante. Il est vrai que, dans ces conditions, le fleuve refluant autour de l'Ile élèverait le niveau de l'eau dans le bras droit au-dessous des roues; la hauteur de chute et la force motrice seraient moins fortes que pendant l'hiver. Mais c'est là une nécessité de la situation que rien ne peut corriger, et qui, dans le régime actuel, est bien plus onéreuse qu'elle ne le serait dans le projet ci-dessus exposé.

Dans les étés à hautes eaux, si les eaux du lac s'élèvent notablement, si elles menacent d'arriver aux cotes dangereuses, j'ouvrirais en partie le barrage du bras droit. Je l'ouvrirais en totalité si la chose devenait nécessaire dans les années d'inondation, lorsque le Rhône du Valais, les affluents directs du lac et les pluies du ciel versent ces énormes quantités d'eau qui, avec l'état imparfait des débouchés, font monter aujourd'hui le lac aux cotes 2.6, 2.7, 2.8 m. et plus. Les deux barrages entièrement ouverts, le débit de l'émissaire serait énorme et suffirait à empêcher toute inondation sur les bords du lac.

Dans ces conditions, lorsque le barrage de droite serait entièrement ouvert, la chute du Rhône serait supprimée sous les roues et turbines de la Machine hydraulique. Les machines à vapeur seraient alors appelées à suffire à elles seules à la force motrice nécessaire pour le service des eaux, mais grâce à ces machines l'alimentation de la ville ne serait pas en souffrance.

Les cas dans lesquels la force motrice gratuite du Rhône devrait être remplacée par la force motrice onéreuse de la vapeur, pour parer aux dangers d'inondation, seraient-ils fréquents et prolongés? Je ne suis pas en état de soumettre cette question au calcul, mais ce que je sais du régime du lac me permet d'affirmer qu'ils seraient rares et de peu de durée.

Normalement il n'y a pas une année d'inondation sur dix :

pendant 90 ans par siècle, Genève pourrait utiliser, toute l'année durant, en tout ou en partie, la force motrice du Rhône. Normalement dans les années d'inondation, l'état de très forte crue des affluents du lac ne dure que quelques semaines, un mois au plus. Ce serait donc 10 mois par siècle pendant lesquels Genève devrait ouvrir entièrement tous ses barrages et employer uniquement la force motrice de ses machines à vapeur. Pendant 99 ans par siècle, disons 98 ans, elle utiliserait tout ou partie de la force motrice du Rhône.

Il est permis d'espérer en outre que par une meilleure utilisation de cette force motrice par des barrages mieux faits et moins perméables, Genève compenserait et bien au-delà les dépenses qu'elle aurait à faire pour corriger ses installations. A première vue et sauf rectification par les calculs des hydrauliciens, Genève non-seulement ne perdrait rien, mais encore gagnerait de la force motrice à cette correction des barrages de sa machine ¹.

Les riverains auraient, par cette correction, la suppression absolue de toutes les inondations du lac. Rien ne serait plus facile, après quelques années d'étude du jeu des barrages, de maintenir le lac au-dessous de la cote 2.4 m.

La navigation n'y perdrait rien, car le niveau des basses eaux serait maintenu au-dessus des cotes 0.8 ou 1.0 m. avec plus de facilité encore qu'actuellement!

Quant à l'abaissement désirable chaque dix ans des basses eaux à une cote extraordinairement basse, 0.5 m., par exemple, pour les travaux de reconstruction aux murs des quais, il serait facilement obtenu par l'ouverture du barrage du bras gauche du fleuve. Si l'opération se fait assez tard dans le printemps, les intérêts de la Machine hydraulique, ni ceux de la navigation ne souffriraient pas trop longtemps de ces très basses eaux.

¹ Dans l'année actuelle, 1880, la machine à vapeur a dû fonctionner presque constamment pour subvenir à l'insuffisance de la Machine hydraulique. Avec des barrages bien établis la machine à feu aurait été éteinte pendant toute l'année.

Suis-je trop optimiste? Dans mon ardent désir de voir une transaction amiable donner au Procès du Léman une solution heureuse qu'un jugement de tribunal ne pourra guère prononcer, ne fais-je pas une part trop petite aux difficultés, et ne me laissé-je pas trop entraîner vers des espérances chimériques d'arrangement? Je ne le crois pas. Ce que je désire, c'est que de part et d'autre l'on veuille bien considérer la position nouvelle que fait à la question la construction des machines à vapeur de la ville de Genève; c'est un fait nouveau qui supprime la nécessité, pour l'alimentation d'eau d'une ville de soixante mille habitants, d'avoir, constamment et toujours, l'usage de la chute d'eau du Rhône. A nouveau fait, nouveaux conseils; que l'on étudie de nouveau le problème, et que l'esprit de bonne volonté auquel des deux côtés on fait si souvent appel, aide à trouver une solution pacifique et également utile aux deux parties en lutte et en procès.

§ XXXIV. — Le barrage mobile de Genève.

Dans un mémoire récent ¹, M. le prof. Plantamour, de Genève, s'est attaqué à quelques mots du § XXIV de ces Etudes limnimétriques, ceux où j'ai parlé de la baisse du lac survenue en février 1879 à la suite de l'ouverture partielle du barrage de la Machine; il en a pris occasion pour illustrer et pour renforcer la théorie qu'il a développée dans le cours de son mémoire, à savoir que le barrage mobile de la Machine hydraulique de Genève est sans effet sensible sur le débit du Rhône; que « à une même hauteur du lac, le débit total du fleuve, par les deux bras et sous la Machine, reste sensiblement le même, que le barrage mobile soit posé ou non; » que la diminution de débit produite par le barrage mobile s'élève

¹ *E. Plantamour. Remarques sur le rapport présenté au Conseil d'Etat du canton de Vaud par MM. Pestalozzi et Legler, sur l'écoulement du Rhône à Genève. Genève 1880.*

« à la quantité insignifiante de 3.17 m^3 par seconde, c'est-à-dire à une quantité comprise dans les limites de l'incertitude des opérations. » Qu'il me soit permis, avec toute la déférence et le respect que j'ai pour la personne, les travaux et la science de l'illustre astronome genevois, d'essayer de justifier ma position dans la question et mon refus de me rendre à ses objections; qu'il me soit permis de tenter de prouver que sa théorie ne répond pas aux faits, de montrer au contraire que l'état d'ouverture ou de fermeture du barrage mobile de Genève a un effet positif et très notable sur le débit du fleuve.

Reprenons d'abord la question telle qu'elle est posée par M. Plantamour. Voici la description que j'avais faite : « Il y a eu deux crues principales pendant l'hiver de 1878 à 1879; l'une ayant commencé dans les derniers jours de décembre 1878 a amené vers le 9 janvier les eaux à la cote extraordinaire de 1.639 m., de 56 centimètres au-dessus de la normale. Le lac s'est maintenu pendant quelques jours à cette hauteur, puis est redescendu dans les premiers jours de février à la cote plus modérée de 1.453 m. Un nouveau maximum, le 14 février, a ramené les eaux à 1.599 m. A ce moment des travaux de réparation à la Machine hydraulique de Genève ont nécessité l'ouverture du barrage et le lac s'est abaissé rapidement, très rapidement, jusqu'à la cote de 1.235 m., au 20 mars, époque à laquelle le barrage a été de nouveau fermé. La baisse du lac obtenue par l'ouverture du barrage a été de 364^{mm} , ce qui représente un écoulement du lac en sus de l'entrée de 210 millions de m^3 ; soit 72 m^3 par seconde d'excès moyen de la sortie sur l'entrée. » La phrase incriminée consiste dans ce peu de mots ; « la baisse du lac obtenue par l'ouverture du barrage. » M. Plantamour m'a fait observer que dans cette phrase je parle uniquement de l'ouverture du barrage et que je ne tiens aucun compte des variations dans le débit des affluents ; que, à partir du 15 février, ceux-ci ont dû apporter moins d'eau au lac, le temps très humide et très pluvieux de la première quinzaine de février ayant fait place à un temps très sec en mars.

Je n'ai fait aucune difficulté de donner raison à cette observation¹; il va en effet sans dire que, quand le temps est beau et sec, il entre moins d'eau dans le lac, toutes choses égales d'ailleurs, et qu'il y a plutôt tendance à la baisse², tandis que lorsque le temps est humide et pluvieux, les affluents apportent relativement plus d'eau, et toutes choses égales, il y a plutôt tendance à la hausse. Ce sont là des vérités que j'ai cru inutile de répéter à chaque occasion, mais que je ne fais aucune difficulté à proclamer.

Mais M. Plantamour me demande plus. Il prétend prouver, par la comparaison des chutes d'eau dans les mois de février et de mars 1879, que la différence dans les débits probables des affluents suffit à expliquer toutes les variations de hauteur observées sur le lac, et que l'ouverture du barrage de la rive gauche, les 15 et 26 février, n'a été pour rien, ou presque rien, dans la baisse extraordinaire du lac du 15 février au 20 mars. Voici son raisonnement :

Divisons en deux périodes les mois de février et de mars 1879, l'une avant, l'autre après le 15 février, jour du commencement de l'ouverture du barrage de la Machine; calculons pour ces deux périodes la quantité relative d'eau entrée dans le lac, et évaluons-la en mètres cubes à la seconde.

Du 2 au 14 février il est tombé à Genève en moyenne 4.57^{mm} d'eau de pluie par jour; du 15 février au 20 mars il n'en est tombé en moyenne que 0.61^{mm} par jour.

Tirons de ces chiffres la différence de l'entrée d'eau dans le lac dans les deux périodes.

Il est tombé moins de pluie sur les 578 kil. du lac. Un calcul très simple donne pour ce chef une différence d'entrée en moins pendant la 2^e période de 27 m³ à la seconde.

La pluie étant moins forte dans la deuxième période, les

¹ Voyez : Procès-verbaux de la Société vaudoise des sc. nat., séance du 7 juillet 1880. Bull. t. XVII, p. xxv.

² Suivant les circonstances, cette tendance à la baisse se traduira ou bien par une baisse effective, ou seulement par un ralentissement dans la rapidité de la crue.

affluents, fleuves et torrents ont dû apporter moins d'eau au lac; par un calcul plus compliqué M. Plantamour évalue cette différence d'entrée, dans la 2^e période comparée à la première, à 37 m³ à la seconde, au minimum.

Enfin le temps ayant été plus sec dans la 2^e période, l'évaporation a dû être plus forte et enlever au lac bon nombre de mètres cubes d'eau.

De cette manière il y a eu une différence notable dans la quantité d'eau entrée dans le lac, avant et après le 15 février, différence que M. Plantamour évalue :

| | | |
|--|---------------------------------|---|
| du fait de la pluie tombée sur le lac | 27 m ³ à la seconde. | |
| du fait de la diminution des affluents | 37 | » |
| du fait de l'évaporation sur le lac | . <u>x</u> | » |
| soit une valeur minimale de | . . . 72 | » |

L'entrée de l'eau dans le lac ayant ainsi diminué de plus de 72 m³ à la seconde, le lac a dû nécessairement subir la baisse observée, dit M. Plantamour.

Il y aurait bien des objections de détail à opposer à ce raisonnement. Je pourrais montrer que la période de sécheresse n'a pas commencé le 15 février, mais seulement le 23; que d'après les observations de Genève, du 15 au 23 février, il est tombé 18.9^{mm} d'eau, soit 2.7^{mm} d'eau en moyenne par jour¹ et non pas 0.61^{mm} comme le veut l'argument de M. Plantamour; que la baisse du lac a commencé à être évidente dès le 16 ou le 17², et que le 23 le lac avait déjà baissé de 5 centimètres environ; que l'on ne saurait faire intervenir dans le calcul la sécheresse absolue de 20 jours du mois de mars, pour expli-

¹ Si avec ces chiffres on fait un calcul analogue à celui de M. Plantamour, l'on ne trouve pour la différence de débit d'entrée entre les deux périodes 2-14 février et 15-23 février que :

| | | |
|-----------------------------------|---|---|
| Pluie tombée dans le lac | . . . 12.5 m ³ à la seconde. | |
| Diminution de débit des affluents | 16.4 | » |
| Ensemble | . . . <u>28.9</u> | » |

² Suivant que l'on prend les observations limnimétriques de Morges ou de Sécheron.

quer une baisse du lac qui a commencé le 15 février; que pour un calcul de ce genre l'état des affluents est déterminé par la quantité d'eau tombée le jour même et les jours précédents, mais que l'état hygrométrique ou pluviométrique des jours subséquents ne peut entrer en ligne de compte, etc. : mais je laisse de côté ces détails pour m'en tenir à une seule réponse que je formulerai en quelques phrases; pour simplifier la discussion, j'admettrai sans autre les chiffres de M. Plantamour et je dirai :

Il est vrai que la baisse du lac du 15 février au 20 mars est causée par une différence moyenne de 72 m^3 dans le débit à la seconde des affluents et de l'émissaire, les affluents ayant un débit plus faible que celui de l'émissaire; — il est admissible que, entre la période du 2 au 14 février et celle du 15 février au 20 mars, il y ait eu une différence moyenne de 72 m^3 à la seconde dans la quantité d'eau entrée dans le lac, l'entrée étant plus faible dans la période de sécheresse relative. — Mais la similitude entre ces deux chiffres de 72 m^3 à la seconde ne nous donne pas l'explication de la baisse du lac. En effet, si le débit de l'émissaire n'a pas été influencé par l'ouverture du barrage de la Machine, ce n'est pas une différence de 72 m^3 dans l'entrée du lac qu'il faut pour expliquer la baisse du lac à partir du 15 février, mais une différence de 153 m^3 à la seconde, soit une différence plus de deux fois plus forte.

Prenons, en effet, le lac du 3 février au 2 mars; parti de la cote 1.453 m., il s'est élevé le 14 février jusqu'à la cote 1.599 m., pour redescendre au 2 mars à la cote 1.445 m. Dans la première moitié de cette période, du 3 au 14 février, en 11 jours, le lac est monté de 146^{mm} , ce qui, d'après la superficie connue du lac, représente un excès de débit de l'entrée sur la sortie de 89 m^3 à la seconde. Dans la 2^e moitié de la période, du 15 février au 2 mars, en 16 jours, le lac est descendu de 154^{mm} , ce qui représente un excès de la sortie sur l'entrée de 64 m^3 à la seconde.

Si l'on suppose, avec M. Plantamour, que l'ouverture du

barrage a été sans effet sur le débit de l'émissaire, il faut admettre que le débit moyen du Rhône a été à peu près égal dans les deux moitiés de la période, le lac étant revenu à son point de départ après avoir subi sa crue du 14 février. Appelons v le débit variable de l'émissaire. Le débit des affluents aura été en moyenne :

Du 3 au 14 février . . . $v + 89$

Du 15 février au 3 mars. . $v - 64$

Donc la différence dans l'entrée de l'eau dans le lac, entre les deux périodes, si l'on suppose le débit de l'émissaire de Genève non modifié par l'ouverture du barrage, aurait été

$$89 + 64 = 153 \text{ m}^3 \text{ à la seconde.}$$

Or les calculs de M. Plantamour n'arrivent à trouver dans l'entrée de l'eau dans le lac qu'une différence de 72 m^3 ; donc, en admettant ces calculs, il reste 81 m^3 à la seconde d'excès dans le débit de l'émissaire qui ne sont pas expliqués par la diminution de l'entrée d'eau.

C'est cet excès, toutes réserves faites sur les chiffres, que j'attribue à l'ouverture du barrage de la Machine.

M. Plantamour produit un second argument. Il tire d'une formule empirique sur laquelle je reviendrai plus loin, le débit de l'émissaire de Genève pour tous les jours des mois de février et mars 1880; il déduit de ce débit, combiné à la variation de hauteur du lac, le débit des affluents et il en fait un tableau qu'il met en regard des chutes d'eau, de la température moyenne et de l'humidité de l'air. Ces calculs ne font jouer aucun rôle aux opérations du barrage, et cependant, d'après leur auteur, il est évident que la quantité d'eau, attribuée ainsi à l'entrée dans le lac, correspond parfaitement à l'état hygrométrique et thermique de la journée.

Il ne me semble pas que ce tableau prouve rien dans la question en litige. En effet, si au lieu des chiffres que donne la formule de M. Plantamour, nous prenons pour le débit de l'émissaire des valeurs de 20, de 50 m^3 plus faibles, les débits d'entrée en seront diminués de 20, de 50 m^3 , mais les rela-

tions entre les entrées d'un jour à l'autre resteront les mêmes, et la démonstration aura la même évidence; de même si nous augmentons le débit de l'émissaire; de même encore, ou à peu près de même, si nous l'augmentons pour certaines périodes et si nous le diminuons pour d'autres.

C'est ainsi que j'ai fait un tableau analogue à celui de M. Plantamour, dans lequel j'ai diminué de 40 m^3 le débit du Rhône entièrement barré, j'ai augmenté de 20 m^3 le débit du Rhône ouvert aux $\frac{2}{3}$ du barrage du bras gauche, de 30 m^3 le débit du Rhône, le bras gauche entièrement ouvert. Les débits de l'entrée sont un peu différents de ceux de M. Plantamour, mais on y voit, comme dans le tableau de mon honorable contradicteur, l'entrée être plus forte après les jours de pluie et dans la période humide que après les jours sans pluie et dans la période sèche.

Je ne donne pas ici ce tableau qui est entièrement basé sur des chiffres en l'air et qui serait sans utilité pratique; mais chacun peut le refaire en quelques minutes et constater avec moi qu'il a les mêmes caractères de démonstration apparente que celui de M. Plantamour; j'en conclus que l'argument de M. Plantamour n'est pas démonstratif.

Du reste, si l'on admettait le tableau de M. Plantamour, l'on verrait que, ainsi que je le disais plus haut, une différence de 72 m^3 dans l'entrée d'eau dans le lac serait bien loin de suffire pour expliquer les variations de hauteur du lac à partir du 15 février. Si l'on fait les moyennes des chiffres donnés par ce tableau l'on obtient en effet pour l'entrée

du 3 février au 15 février 353 m^3 à la seconde.

du 15 février au 2 mars 213 »

différence 140 »

et non 72 m^3 . J'avais indiqué pour cette différence 153 m^3 en me basant sur les chiffres limnimétriques de Morges, tandis que les 140 m^3 que nous trouvons ici sont calculés d'après la limnimétrie de Sécheron.

Si l'on poursuit cette comparaison jusqu'au 20 mars,

comme le voudrait le calcul des entrées de M. Plantamour, l'écart devient encore plus frappant : en effet, l'on obtient

| | | |
|-------------------------|---------------------------------|---|
| du 3 au 15 février . . | 353 m ³ à la seconde | |
| du 15 février au 2 mars | 175 | » |
| différence | 178 | » |

et non pas 72 comme l'indique le calcul basé sur la différence des hauteurs de pluie entre les deux périodes.

Nous verrons, du reste bientôt, que les chiffres, donnés dans le tableau de la page 51 des Remarques pour le débit du Rhône quand il est entièrement barré, sont certainement beaucoup trop forts.

Il est enfin un dernier argument donné par M. Plantamour pour prouver que le barrage mobile est sans effet sensible sur le débit de l'émissaire du lac. Utilisant les cinq jaugeages Pestalozzi et Legler de 1873 et 1874, et rapportant leurs débits à la hauteur absolue du lac, il montre qu'une seule formule s'applique à ces débits et exprime en fonction de la hauteur du lac la quantité d'eau qui s'écoule à Genève, que le Rhône soit barré ou non.

Je laisse aux hydrauliciens le soin de critiquer cette formule ; cette critique directe n'est pas dans ma compétence. Je serai, du reste, entraîné à y revenir dans un moment.

J'ai cherché si en abordant le problème d'une autre manière on ne pourrait pas obtenir une démonstration plus évidente de l'effet du barrage mobile. Voici comment j'y suis arrivé.

Pendant 15 mois, soit du 14 octobre 1873 au 31 décembre 1874, par ordre du gouvernement vaudois, il a été fait des observations journalières de la hauteur du Rhône à 13 échelles limnimétriques, établies depuis l'embouchure du port de Genève jusqu'à la jonction du Rhône et de l'Arve ; les cahiers d'observations sont déposés au Bureau des ponts et chaussées de Lausanne qui les a mis fort obligeamment à ma disposition.

De ces 13 échelles limnimétriques, dont la description détaillée a été donnée ailleurs ¹, 5 sont situées au-dessus du barrage de la Machine hydraulique, 8 sont situées dans le Rhône au-dessous du barrage. Si les opérations du barrage, ouverture et fermeture du barrage mobile, ont un effet sensible sur le débit du fleuve, cet effet doit se reconnaître par une comparaison des hauteurs de l'eau au-dessus et au-dessous du barrage; pendant l'époque où le Rhône est barré, le débit du fleuve doit être moins considérable, et par conséquent la hauteur relative, mesurée au-dessous du barrage, doit être moins grande que quand le Rhône est libre. — Si au contraire les opérations du barrage sont sans effet sur le débit du fleuve, et si la quantité d'eau qui s'écoule est simplement fonction de la hauteur du lac, les deux courbes, celle du lac ou du port, au-dessus du barrage, et celle du fleuve, au-dessous du barrage, doivent suivre une marche parallèle, ou à allures régulièrement variables. La comparaison des observations limnimétriques au-dessus et au-dessous du barrage doit donc permettre de juger la question.

Il y aura bien deux difficultés. La première tient à ce que le barrage mobile n'est jamais ouvert ou fermé en une fois; les opérations durent plusieurs jours, plusieurs semaines ou plusieurs mois. La seconde difficulté tient à ce que la hauteur du lac et celle du fleuve sont différentes aux deux périodes d'ouverture ou de fermeture du barrage; le barrage n'est ouvert qu'aux hautes eaux, il n'est fermé qu'aux basses eaux, et la période de comparaison utile est par conséquent fort courte. Nous verrons que ces difficultés n'empêchent pas ce mode de démonstration d'être fort évident.

Pour faire cette étude j'ai porté sur la planche X la courbe pleine donnant les hauteurs de l'eau mesurées dans le port de Genève, au limnimètre A ², situé à l'extrémité du môle des

¹ K. Pestalozzi et G.-H. Legler. Rapport sur les conditions de l'écoulement du Rhône à Genève, p. 6. Lausanne 1876.

² *Ibid.*

Eaux-Vives; la courbe ponctuée donne la hauteur de l'eau mesurée dans le Rhône au limnimètre K, situé au milieu du pont de la Coulouvrenière, au-dessous de l'île de Genève. Les échelles sont les mêmes, $\frac{1}{10}$ de réduction des hauteurs verticales; le zéro est placé d'une manière arbitraire.

Les allures de ces deux courbes qui donnent la hauteur de l'eau au-dessus et au-dessous du barrage, me semblent fort démonstratives.

Du 14 au 30 octobre 1873 les deux courbes suivent une marche à peu près parallèle.

Du 31 octobre au 9 novembre la courbe du fleuve, au dessous du barrage, présente une chute subite de 25 centimètres environ montrant qu'il y a eu diminution importante dans le débit du fleuve.

Du 9 novembre à la fin de mai 1874, les deux courbes restent assez sensiblement parallèles.

Dans les premiers jours de juin la hauteur du fleuve augmente tout à coup de 25 à 30 centimètres et la courbe ponctuée rejoint presque la courbe pleine.

Les deux courbes se séparent de nouveau vers le 6 novembre et le débit du fleuve devient, comme l'automne précédent, très faible relativement à la hauteur de l'eau dans le port.

De l'inspection de cette planche, je conclus que le barrage a été fermé vers le 6 novembre 1873 et le 6 novembre 1874, et qu'il a été ouvert dans les premiers jours de juin 1874; les irrégularités d'allures des deux courbes, tenant à des erreurs de lecture, à des seiches, à la fermeture des vannes de la machine, ou à d'autres causes à moi inconnues, m'empêchent d'être plus précis.

Or d'après les notes qui m'ont été fort obligeamment données autrefois par M. Merle d'Aubigné, ingénieur au service des eaux de Genève, le barrage de la Machine a subi pendant cette période les modifications suivantes :

| | | |
|--------------------------------------|------------|---------------------------|
| Il a été entièrement ouvert jusqu'au | 30 octobre | 1873 |
| partiellement fermé | » | 3 novembre » |
| entièrement fermé | » | 1 ^{er} mars 1874 |
| partiellement ouvert | » | 12 juin » |
| entièrement ouvert | » | 7 octobre » |
| partiellement fermé | » | 7 novembre » |
| entièrement fermé | » | 31 décembre » |

Sauf la date de la fermeture totale en automne 1873 qui, d'après l'étude des courbes, doit avoir eu lieu vers le 6 novembre au lieu du 3¹, la coïncidence des dates est excellente, et l'on peut donner la démonstration comme très probante.

Pour vérifier cette démonstration j'ai voulu reprendre la même question en m'adressant aux lectures d'autres limnimètres et en abordant le problème d'une autre manière.

J'ai choisi pour mesurer la hauteur de l'eau dans le port, le limnimètre du Jardin Anglais, limnimètre à flotteur, mieux protégé contre les vagues que l'échelle des jetées, et pour la hauteur du fleuve, au-dessous du barrage, le limnimètre Q de Pestalozzi et Legler, situé sur la rive gauche, au-dessous de la Coulouvrenière, en amont du café de la Jonction. Le choix de ces deux limnimètres s'expliquera plus loin.

D'après les notes de M. Merle d'Aubigné, j'ai considéré deux états différents du fleuve, savoir :

Le Rhône entièrement libre du 14 au 30 octobre 1873,
et du 12 juin au 7 octobre 1874.

Le Rhône entièrement barré du ² 9 novembre 1873 au 1^{er} mars 1874,

et du 8 novembre au 31 décembre 1874.

¹ M. Merle d'Aubigné a eu l'obligeance de faire une vérification de ce point, et il a constaté que les opérations de la fermeture du barrage, dans l'automne de 1873, ont commencé le 30 octobre et ont été terminées le 7 novembre seulement, et non pas le 3.

² Les anciennes notes de M. Merle d'Aubigné donnaient le 3 novembre 1873 pour la date de la fermeture complète; l'étude des courbes me faisait croire à quelque erreur de date, et pour être plus sûr j'ai fait partir cette période du 9 novembre seulement. (Voir la note ci-dessus.)

Cela étant, j'ai considéré successivement les deux états du fleuve de la manière suivante :

J'ai cherché quelle hauteur d'eau du Rhône à la Coulouvrenière correspond à une hauteur d'eau donnée au limnimètre du port. Pour cela j'ai pris pour base la hauteur du port, et j'ai réuni ensemble tous les jours où le port avait la même hauteur (exprimée par le même décimètre aux lectures journalières); la moyenne de la hauteur de ces diverses observations me donnait la hauteur de l'eau dans le port pour cette série de jours. Puis pour ces mêmes jours, j'ai cherché la hauteur de l'eau dans le fleuve, mesurée au limnimètre Q, et j'ai tiré la moyenne de ces hauteurs ¹. J'ai obtenu ainsi la hauteur moyenne de l'eau dans le fleuve à la Coulouvrenière, pour chaque décimètre de hauteur d'eau dans le port et j'en ai fait deux séries, l'une pour le Rhône ouvert, l'autre pour le Rhône barré. Je les ai mises en présence dans les premières colonnes du tableau suivant, basé sur 128 observations pour le Rhône entièrement ouvert, et 161 opérations pour le Rhône entièrement barré.

Les hauteurs sont données pour le limnimètre du Jardin-Anglais à notre zéro du Léman, soit 3 mètres sous RPN; pour le limnimètre Q, j'ai pris mon zéro à RPN — 4.5 m.

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

L'on voit dans ce tableau :

1° Que dans chacun des états du barrage, les deux séries de hauteur d'eau suivent une progression suffisamment régulière, pour que nous puissions nous baser sur les faits que leur comparaison nous donnera.

2° Que la hauteur du Rhône varie moins vite que la hau-

¹ J'ai laissé de côté une demi-douzaine d'observations trop divergentes où la comparaison avec les lectures des autres limnimètres me faisait croire à des erreurs de lecture ou à des erreurs provenant des seiches.

Tableau XXVIII

Hauteur de l'eau dans le Rhône, au-dessus et au-dessous du barrage de la Machine. Débit du Rhône.

| Etat du barrage. | Nombre d'observations. | Hauteur du port. Limnimètre Jardin anglais. | Hauteur du Rhône. Limnimètre Q. | Différence. | Débit du Rhône à la seconde. | Hauteur absolue du lac. |
|------------------------|---------------------------|--|--|-------------|---------------------------------|----------------------------|
| | | 0 = RPN — 3 ^m . | 0 = RPN — 4.5 ^m | | | 0 = RPN — 3 ^m . |
| Rhône ouvert | 6 | m. 2.434 | m. 1.783 | mm. 651 | m ³ . 505 | m. 2.517 |
| | 17 | 2.364 | 1.737 | 627 | 491 | 2.443 |
| | 18 | 2.241 | 1.637 | 604 | 465 | 2.314 |
| | 10 | 2.147 | 1.536 | 611 | 440 | 2.215 |
| | 14 | 2.059 | 1.451 | 608 | 418 | 2.122 |
| | 8 | 1.960 | 1.364 | 596 | 396 | 2.018 |
| | 11 | 1.853 | 1.285 | 568 | 376 | 1.905 |
| | 12 | 1.734 | 1.185 | 549 | 351 | 1.780 |
| | 16 | 1.662 | 1.123 | 539 | 336 | 1.704 |
| | 4 | 1.548 | 1.078 | 470 | 324 | 1.584 |
| | 5 | 1.462 | 1.000 | 462 | 304 | 1.494 |
| | 7 | 1.366 | 0.926 | 440 | 286 | 1.394 |
| Rhône barré | 20 | 1.343 | 0.402 | 941 | 153 | 1.370 |
| | 37 | 1.245 | 0.344 | 901 | 139 | 1.268 |
| | 39 | 1.156 | 0.301 | 855 | 128 | 1.175 |
| | 27 | 1.053 | 0.243 | 810 | 112 | 1.068 |
| | 17 | 0.958 | 0.196 | 762 | 101 | 0.970 |
| | 21 | 0.856 | 0.138 | 718 | 87 | 0.867 |

teur du port. Ce point est bien mis en évidence par la colonne des différences; l'on y voit que tandis que l'eau dans le port s'élève de 1.068 m., quand le Rhône est ouvert, l'eau à la Coulouvrenière ne s'élève que de 0.857 m.; quand le Rhône est barré, le fleuve ne s'élève que de 0.264 m. pendant que le port s'élève de 0.487 m. Ces différences d'allures expliquent la manière dont les courbes pleine et ponctuée de notre planche X se rapprochent et s'éloignent en dehors des temps d'opérations faites au barrage.

3° Que chacune des séries est indépendante, et qu'elles ne peuvent pas se réduire à une progression continue; lorsque le Rhône est barré, la hauteur du fleuve diminue d'une manière importante; cela se voit par la comparaison générale des deux progressions. Cela devient évident par la comparaison des deux chiffres où la hauteur d'eau dans le port est à peu près la même.

| | Hauteur du port. | Hauteur du fleuve. |
|-----------------------|------------------|--------------------|
| Le Rhône ouvert . . . | 1.366 m. | 0.926 m. |
| » barré . . . | 1.343 | 0.402 |
| | différence . . . | 0.524 |

que nous réduirons à 0.50 m. si nous ramenons les hauteurs du fleuve à la même hauteur d'eau dans le port.

Une différence de un demi-mètre dans la hauteur du fleuve est donc amenée par l'ouverture complète ou la fermeture complète du barrage. Je suis donc fondé à dire que ces opérations du barrage ont un effet sensible et notable sur le cours du fleuve.

Mais on peut se demander quel est l'effet réel, sur le débit du fleuve, des opérations qui se traduisent par des variations de hauteur du Rhône? Peut-on évaluer la différence des débits?

J'y arriverai approximativement de la manière suivante.

Nous possédons les cinq jaugeages faits en 1873 et 1874 par MM. Pestalozzi et Legler sur le Rhône, à la Coulouvrenière,

et nous savons la hauteur du fleuve au limnimètre Q, au jour de ces jaugeages. Un tableau graphique analogue à celui de la planche III du mémoire Pestalozzi et Legler de 1876 nous permettra de tirer avec une approximation très suffisante le débit du fleuve pour les différentes hauteurs du limnimètre Q. Ce sont les chiffres que je donne dans la 6^e colonne de mon tableau XXVIII.

L'on y voit le débit du fleuve varier avec la hauteur de l'eau dans le port :

quand le Rhône était ouvert de 505 à 286 m³ à la seconde,
quand le Rhône était barré de 153 à 87 »

Pour la même hauteur d'eau dans le port nous avons :

| | | | |
|----------------------------|-----------|-----------------|--------------------|
| Rhône ouvert haut. du port | 1.366 m., | débit du fleuve | 286 m ³ |
| Rhône barré | » | 1.343 | » 153 |
| | | différence | . . . 133 |

que nous réduirons à 130 m³ en tenant compte des différences dans la hauteur moyenne de l'eau dans le port.

Ainsi donc pour ces hauteurs moyennes du lac, l'ouverture ou la fermeture du barrage amène une différence de 130 m³ en plus ou en moins dans le débit du fleuve; l'ouverture complète du barrage double presque le débit du fleuve. Je suis donc fondé à dire que les opérations du barrage ont un effet positif et notable sur le débit du fleuve.

Ajoutons ici que les opérations du barrage se font très rarement en une fois; qu'en général il y a au printemps et en automne une période intermédiaire pendant laquelle le Rhône est seulement au quart, ou à la moitié, ou aux trois quarts barré. Dans ces états intermédiaires, le débit du fleuve varie avec le degré de l'ouverture. C'est donc en général non pas brusquement, mais par transitions relativement modérées, que se fait le passage du régime d'été au régime d'hiver, que varie le débit relatif du fleuve. C'est ce qui explique comment des variations aussi considérables, un demi-mètre de hauteur d'eau, ont pu échapper à l'attention du public genevois.

Pour rendre ces variations dans le débit du fleuve plus évidentes à l'œil, j'ai construit la planche XI qui donne les débits du fleuve rapportés à la hauteur du lac. Les éléments de ces courbes sont tirés du tableau XXVIII. Les ordonnées donnent la hauteur du lac déduite par une correction convenable¹; j'en ai inscrit la valeur dans la 7^e colonne de mon tableau XXVIII. Les abscisses donnent le débit du Rhône d'après la 6^e colonne de ce même tableau.

La courbe A donne ainsi les débits du Rhône, en fonction de la hauteur du lac, lorsque le fleuve est entièrement ouvert; la courbe B donne ces mêmes valeurs lorsque le fleuve est entièrement barré².

La comparaison de ces deux courbes montre bien qu'elles sont absolument irréductibles l'une à l'autre.

Si nous avions des observations en nombre suffisant nous pourrions évidemment tracer une troisième courbe intermédiaire aux deux autres, donnant le débit du Rhône à moitié barré, lorsque le barrage est fermé sur le bras droit du fleuve et ouvert sur le bras gauche.

Il reste encore un point à expliquer, c'est la formule de M. E. Plantamour. Comment, avec des variations aussi considérables dans le débit relatif du fleuve suivant l'état du barrage, a-t-on pu tirer des jaugeages Pestalozzi et Legler une formule qui s'appliquerait indistinctement à tous les états du barrage? Comment, avec des variations qui atteignent probablement 130 m³ à la seconde dans le débit du fleuve suivant que le barrage est ouvert ou fermé, une formule parfaitement déduite peut-elle ne trouver entre ces deux conditions qu'une différence de débit de 3 m³?

¹ Voir dans ces Etudes limnimétriques, tableau I au § II, 1^{re} série.

² L'étude de cette planche justifie mon dire que la formule de M. Plantamour donne pour le débit du Rhône entièrement barré des chiffres trop forts. Par une hauteur du lac de 1.250 m. M. Plantamour calcule un débit du Rhône de 200 m³ à la seconde. Ma planche ne donne pour cette même hauteur qu'un débit de 137 m³.

Cela s'explique facilement si dans ma planche XI on porte les jaugeages Pestalozzi et Legler. Les points *e*, *d*, *c*, *b* et *a* expriment les débits du fleuve les 18 août, 20 septembre, 14 octobre, 4 novembre 1873 et 13 février 1874, ramenés aux hauteurs du lac telles qu'elles nous sont données par le limnimètre de Vevey. On voit tout de suite que ces cinq points peuvent facilement être rapportés à une même ligne droite qui correspondrait à très peu de chose près à la formule de M. Plantamour.

Mais on y voit aussi que le point *b*, jaugeage du 4 novembre 1873, n'appartient point à l'une des courbes A ou B, donnant les débits du fleuve suivant que le barrage est ouvert ou fermé; le point *b* appartient à une courbe intermédiaire, correspondant au débit du Rhône à moitié fermé. Nous avons vu, d'ailleurs, par l'étude de ma planche XI¹ que ce n'est que le 6 ou le 7 novembre que le barrage a dû être entièrement fermé, que, à la date du 4 novembre, il devait être encore en partie ouvert.

L'erreur de M. Plantamour vient donc d'avoir attribué le jaugeage du 4 novembre à la même série que celui du 13 février, d'avoir cru posséder deux jaugeages avec le Rhône entièrement fermé, et par conséquent d'avoir cru pouvoir en tirer la formule des débits dans cet état du Rhône.

En réalité les trois premiers jaugeages qui sont à la base de sa formule appartiennent à trois formules différentes, à savoir :

| | | |
|---------------------|----------|----------------------|
| celui du 13 février | au Rhône | entièrement fermé. |
| celui du 4 novembre | » | partiellement fermé. |
| celui du 12 octobre | » | entièrement ouvert. |

Ces faits, que M. Plantamour ignorait évidemment, expliquent complètement le résultat erroné auquel il est arrivé.

En résumé, des faits exposés dans ce paragraphe, je conclus que les opérations du barrage mobile de Genève ont un

¹ Et par la vérification de M. Merle d'Aubigné.

effet réel et notable sur le débit du Rhône; que cet effet, dans les conditions les plus favorables, s'exprime :

a. Par une variation de 50 cm. dans la hauteur de l'eau du fleuve, à la Coulouvrenière, au-dessous du barrage.

b. Par une variation de 130 m³ à la seconde dans le débit du fleuve.

c. Par une variation de 2 cm en 24 heures, dans la hauteur du lac.

§ XXXV. — Variations de la pente de l'eau dans le port de Genève.

Dans un paragraphe précédent, j'ai dit que la pente de l'eau avait varié dans le port de Genève. Voici quelques chiffres à l'appui de cette assertion.

Les données que nous possédons se rapportent à différentes hauteurs du lac : je les diviserai en quatre groupes :

| | Distance d'un point à l'autre. m. | Hauteur du lac. m. | Pente. mm. |
|---|--|-----------------------------|---------------|
| <i>Hautes eaux.</i> | | | |
| 1833, 5 juin. De la Tourelle des Boucheries à la Machine hydraulique. G.-H. Dufour ¹ | 500 | 1.54 | 401 |
| 1833, 5 juin. De la Pierre-du-Niton à la Tourelle des Boucheries. G.-H. Dufour ¹ | 200 | 1.54 | 32 |
| 1837, 19 août. Du limnimèt. du Grand-Quai à la Machine hydraulique. G.-H. Dufour ¹ | 300 | 2.47 | 379 |
| 1878-1879. Du limnimètre Jardin-Anglais au Pont de la Machine. E. Plantamour ² | 425 | 2.79 | 299 |

¹ G.-H. Dufour. Mémoire de 1838.

² E. Plantamour. Réponse de l'Etat de Genève. Annexe 16.

| | Distance d'un point à l'autre. m. | Hauteur du lac. m. | Pente. mm. |
|--|--|-----------------------------|---------------|
| 1864-1867, juillet. Du Jardin-Anglais à l'Île Rousseau. E. Plantamour ³ | 250 | | 92 |
| 1860, hautes eaux. Vevey au Jardin-Anglais. F.-A. Forel ⁴ . . . | >2000 | | 160 |
| 1875, hautes eaux. Vevey au Jardin-Anglais. F.-A. Forel ⁴ . . . | >2000 | | 90 |
| 1878-1879, hautes eaux. Sécheron au Jardin-Anglais. E. Plantamour ² | 1600 | 2.79 | 94 |
| 1850-1854, hautes eaux. De Morges au Grand-Quai de Genève ⁶ . . . | >2000 | 2.30 | 75 |

Eaux moyennes.

| | | | |
|--|-------|--|----|
| 1850-1854. De Morges au G ^d -Quai de Genève. F. Burnier et F.-A. Forel ⁶ >2000 | | | 25 |
| 1873. De Genthod au Jardin-Anglais. E. Plantamour ⁵ . . . | >2000 | | 56 |

Basses eaux.

| | | | |
|--|-------|------|-----|
| 1823, avril. De la Tourelle des Boucheries au Barrage de la Machine. A. Pichard ¹ . . . | 500 | 0.82 | 390 |
| 1837, 1 ^{er} avril. Du Grand-Quai à la Machine hydraul. G.-H. Dufour ¹ . | 300 | 0.55 | 203 |
| 1878-1879, hiver. Du Jardin-Anglais à la Machine. E. Plantamour ² . | 425 | 1.22 | 29 |
| 1864-1867, janvier. Du Jardin-Anglais à l'Île Rousseau. E. Plantamour ³ | 250 | | 29 |
| 1860, hiver. De Vevey au Jardin-Anglais. F.-A. Forel ⁴ . . . | >2000 | | 15 |
| 1875, hiver. De Vevey au Jardin-Anglais. F.-A. Forel ⁴ . . . | >2000 | | 10 |
| 1878-1879, hiver. Sécheron au Jardin-Anglais. E. Plantamour ² . . . | 1600 | 1.22 | 21 |

¹ G.-H. Dufour. Mémoire de 1838.² E. Plantamour. Réponse de l'Etat de Genève. Annexe 16.³ E. Plantamour. Notice, etc., p. 13.⁴ F.-A. Forel. Limnimétrie, § IV. Pour la pente de Vevey au Jardin Anglais vers 1860, mes anciens calculs donnaient en été environ 190 mm., en hiver 45 mm.; je réduis ces chiffres à 160 et 15 mm. en raison de la variation signalée plus haut dans l'équation du limnimètre de Vevey.⁵ E. Plantamour. Notice, etc., p. 56.⁶ Voyez plus bas.

*Variations en relation avec l'état du
barrage mobile. E. Plantamour ¹.*

| | Distance. m. | Cote. m. | m. |
|--|-----------------|-------------|-----|
| 1874-1880. De Sécheron au Jardin-An- | | | |
| glais. Barrage supprimé ² . . | 1600 | 2.8 | 93 |
| Id. . . | | 1.6 | 51 |
| Barrage établi | | 1.6 | 25 |
| Id. . . . | | 1.0 | 14 |
| Du Jardin-Anglais au Pont de la | | | |
| Machine. Barrage supprimé. . | 430 | 2.8 | 397 |
| Id. . . | | 1.6 | 262 |
| Barrage établi . . . | | 1.6 | 84 |
| Id. . . . | | 1.0 | 22 |

D'après ces chiffres, nous constatons deux variations importantes pendant les 50 dernières années dans la pente de la sortie du lac.

La première, c'est une augmentation de la pente depuis le lac jusqu'au point correspondant à l'ancien limnimètre du Grand-Quai, soit au haut de l'île Rousseau.

De 1850 à 1854 nous savons, par la rectification du zéro de F. Burnier, que de Morges au Grand-Quai la pente était en moyenne de 25^{mm}.

Nous allons voir que de l'hiver à l'été, la pente variait de 10 à 75^{mm}. Prenons pour les très hautes eaux un chiffre

¹ *E. Plantamour. Remarques, etc., p. 18.*

² D'après ces chiffres, la pente superficielle du Rhône dès le lac à la machine hydraulique s'élève lorsque le barrage est ouvert :

de 313 mm. le lac étant à la cote 1,6 m.

à 490 mm. » 2,8 m.

49 cm. de pente aux plus hautes eaux, tel est donc l'effet actuel produit sur la sortie du lac par l'ensemble des divers obstacles naturels et artificiels accumulés sur l'émissaire du lac au dessus de la machine hydraulique.

encore un peu plus fort, et admettons que la pente était alors de 80^{mm}

Actuellement cette pente est plus forte. Nous l'évaluons en additionnant les observations suivantes :

Du limnimètre du Jardin-Anglais à celui du Grand-Quai, la pente des hautes eaux, de 1864 à 1867, calculée par M. E. Plantamour, était de 92

Du lac au limnimètre du Jardin-Anglais la pente des hautes eaux était :

En 1860 d'après mes calculs 160

En 1875 » » 90

De 1874 à 1880 d'après M. E. Plantamour, 93

Prenons ce dernier chiffre qui exprime l'état actuel et nous obtiendrons pour la pente de la sortie du lac jusqu'à l'île Rousseau $92 + 93$ = 185

Si la pente aux hautes eaux était en 1850 de 80 nous avons donc une aggravation de pente de 105^{mm} soit 10 centimètres. En 1860 la pente était beaucoup plus forte et l'aggravation avait atteint une valeur de 17 centimètres environ.

La seconde variation importante que nous constatons dans ces 50 dernières années, c'est la diminution de la pente du Rhône dans la partie inférieure du port de l'île Rousseau au barrage de la Machine.

En 1837, du limnimètre du Grand-Quai à celui de la Machine, la pente était, d'après G.-H. Dufour 379^{mm}

En 1880 du limnimètre du Jardin-Anglais jusqu'à la Machine elle est, d'après M. E. Plantamour 299

Valeur dont nous avons à déduire 92 soit la pente aux hautes eaux entre le Jardin-Anglais et l'île Rousseau, pour avoir la pente actuelle entre l'île Rousseau et la Machine 207

Cette pente était en 1837 379

Il y a donc de 1837 à l'époque actuelle diminution de pente de 172^{mm} soit 17 centimètres.

Comment interpréter ces deux variations en sens inverse de la pente dans l'intérieur du port? Voici l'explication qui me semble la plus simple :

Considérons la pente d'un fleuve entre deux points A et B, A étant le point supérieur. Si pour un même débit d'eau on constate une augmentation dans la pente superficielle de l'eau, on pourra en conclure :

ou bien que l'eau a été abaissée en B, par un meilleur écoulement au-dessous du point B.,

ou bien que l'eau a été relevée en A, par des obstacles à l'écoulement entre A et B.

Si au lieu d'une augmentation de la pente on constate une diminution, on pourra conclure à des modifications inverses.

Utilisons ces données dans le port de Genève.

I. De 1837 à l'époque actuelle nous voyons la pente diminuer dans la partie inférieure du port, de l'île Rousseau à la Machine. J'y vois l'effet :

a. de la construction du nouveau barrage de la Machine hydraulique qui, plus élevé que celui existant en 1837, a relevé l'eau à la partie inférieure de la section de fleuve que nous étudions ;

b. de la suppression des claies, situées avant 1843 entre l'île Rousseau et l'île de Genève; ces claies obstruant le cours du fleuve relevaient l'eau dans la partie supérieure du port et augmentaient artificiellement la pente.

II. De 1850 à l'époque actuelle, la pente de la sortie du lac a été très notablement augmentée dans la partie supérieure du port, soit jusqu'à l'île Rousseau. Aucune amélioration notable n'ayant, à ma connaissance, été faite à l'écoulement du Rhône au-dessous de l'île Rousseau, c'est à un arrêt des eaux supérieures que nous devons cette aggravation de la pente; j'y vois l'effet de la construction du pont du Mont-Blanc et des jetées du nouveau port de Genève, obstacles dont l'action

positive a dépassé de beaucoup l'effet de l'ancienne estacade supprimée dans cette même région. Si cette aggravation de pente, après avoir atteint une valeur de 17 centimètres environ en 1860, est descendue actuellement à 10 centimètres, je reconnais là l'effet de l'érosion qui a creusé entre les deux jetées et au-devant de ces môles, un canal, ou passe, très reconnaissable sur les plans de la rade de Genève en 1879.

A propos de ces variations dans la pente de la sortie du lac, je dois répondre aux objections que M. H. de Saussure m'a adressées aux pages 63 et suivantes de sa Question du Lac.

Dans le § XX de ces Etudes limnimétriques, j'avais exposé les raisons qui me font croire à une variation très importante de la pente avant et après les grands travaux du port de Genève. Ces raisons étaient :

Dans les époques anciennes :

a) L'opinion très nettement exprimée par F. Burnier, qui jugeait en 1854 la pente assez faible, entre le lac et le limnimètre du Grand-Quai de Genève, pour pouvoir n'en pas tenir compte dans ses calculs, et supposer le lac de niveau jusqu'au limnimètre de Genève.

b) Une comparaison entre les observations limnimétriques faites de 1846 à 1850 à Rolle et à Ouchy avec celles de Genève, telles qu'elles ont été corrigées par M. E. Plantamour, m'a montré entre ces séries une différence variable avec la saison, et variant en sens inverse des variations de la pente de la sortie du lac. J'en ai conclu qu'il n'y avait pas lieu d'appliquer à cette époque la correction de la pente que M. E. Plantamour a constatée de 1864 à 1867 entre le limnimètre du Jardin-Anglais et celui du Grand-Quai. En supprimant cette correction aux observations de Genève, les deux séries devenaient à peu près parallèles.

D'après cela, j'arrivais à supposer à l'époque de 1850 une pente moyenne de 2 cm. environ, entre Morges et le limnimètre du Grand-Quai.

Dans l'époque moderne, nous avons entre les mêmes points, le Grand-Lac et le Grand-Quai de Genève, une pente beaucoup plus forte, à savoir, une pente variable suivant la saison :

de Vevey au Jardin-Anglais, 10 à 90 mm. (F.-A. F., 1871-1875) ;

du Jardin-Anglais au Grand-Quai, 29 à 92 mm. (E. Plantamour, 1864-1867) ;

ensemble : de 4 à 18 cm. de pente jusqu'au Grand-Quai de Genève.

M. H. de Saussure n'admet pas l'idée de cette variation dans la valeur de la pente, d'une époque à l'autre ; il croit que la construction des jetées de Genève a simplement localisé, à l'ouverture du port, la pente qui autrefois était uniformément étendue du Banc-du-Travers au Grand-Quai. Sans vouloir entrer ici dans une discussion théorique sur le déversoir du lac que mon honorable ami et contradicteur place encore au Banc-du-Travers et aux jetées du port, je vais reprendre la question de fait.

La circonstance que j'ai constaté des différences variables très évidentes entre les séries limnimétriques de Morges et Ouchy de 1850 à 1854 (V. § XXVIII) a ôté beaucoup de sa valeur à l'argument que j'avais tiré de la comparaison des observations limnimétriques de Rolle et Ouchy avec celles de Genève. J'ai donc voulu profiter de ce que nous avons actuellement dans les observations de Morges de 1850 à 1854 des données parfaitement bien repérées pour vérifier à nouveau cette question de la pente de la sortie du lac. Je donne dans le tableau suivant le résultat moyen des comparaisons d'une vingtaine de lectures simultanées pour chaque décimètre de hauteur du lac, faites à Morges et au Grand-Quai de Genève : dans une seconde colonne je rectifie les écarts de ces chiffres en réunissant ensemble les moyennes de trois décimètres.

| Hauteur du lac. à Morges. | Pente de Morges au limnimètre du Grand-Quai. | |
|------------------------------|--|-----------------------|
| | Ordonnée par décimètre, | par trois décimètres. |
| 0.706 ^m | — 13 ^{mm} | — |
| 0.785 | + 23 | + 5 ^{mm} |
| 0.878 | 6 | 15 |
| 0.984 | 16 | 11 |
| 1.051 | 10 | 21 |
| 1.176 | 38 | 25 |
| 1.271 | 38 | 46 |
| 1.369 | 61 | 48 |
| 1.478 | 46 | 49 |
| 1.579 | 40 | 51 |
| 1.682 | 68 | 54 |
| 1.787 | 54 | 61 |
| 1.856 | 62 | 65 |
| 1.953 | 78 | 74 |
| 2.073 | 84 | 62 |
| 2.169 | 23 | 62 |
| 2.263 | 78 | 59 |
| 2.360 | 75 | — |

D'après cela la pente de la sortie du lac jusqu'au Grand-Quai était approximativement, de 1850 à 1854 ¹ :

| | |
|--|------------------|
| Aux basses eaux | 10 ^{mm} |
| Aux eaux moyennes (V. p. 21) | 25 |
| Aux hautes eaux (cote 2.36 m.) | 75 |
| Aux très hautes eaux | 80 |

Elle est actuellement :

¹ D'après ces chiffres il y a lieu de rectifier les valeurs limnimétriques que j'ai données pour les années 1840 à 1843, d'après les observations de Genève auxquelles j'ai appliqué une correction insuffisante de la pente de la sortie du lac. Les valeurs que j'ai données (page 21 et tableau XXI) doivent être augmentées aux hautes eaux de 35 à 40^{mm}. Cette rectification doit amener aussi une rectification des moyennes que j'ai données au § XXX. Cette rectification pour les hautes eaux et les maximums ne dépasse pas 8^{mm} dans les moyennes de 20 ans, de 4^{mm} dans les moyennes de 40 ans, et de 3^{mm} dans les moyennes de 63 ans.

Du lac au Jardin - Anglais (E. Plantamour

1874-1880) de 10 à 93^{mm}

du Jardin-Anglais au limnimètre du Grand-

Quai (E. Plantamour 1864-1867) de 29 à 92

ensemble pour l'époque actuelle de 39 à 185

Pour l'époque antérieure aux constructions

du port de Genève (1850-1854) elle était . de 10 à 80

différence de 29 à 105

Je me crois donc fondé à dire que la pente de la sortie du lac a varié de 1850 à l'époque actuelle.

§ XXXVI. — Observations fluviométriques à faire sur le Rhône au-dessous de Genève.

La question qui est à la base du Procès du Léman, considéré au point de vue historique, pourrait se juger très facilement, si, pour diverses époques, nous possédions quelques observations de la hauteur du fleuve au-dessous des barrages de Genève. En effet, la question peut se résumer ainsi : La résultante des travaux d'obstruction et de désobstruction du fleuve donne-t-elle, pour la même hauteur du lac, un débit du Rhône plus fort ou plus faible ? La thèse vaudoise dit que dans les dernières années, ce débit est plus faible ; la thèse genevoise dit qu'il est le même ou qu'il est plus fort.

Le débit d'un fleuve est fonction de la hauteur de l'eau, à supposer le profil et la section du fleuve non modifiés ; si nous avons un certain nombre d'observations de hauteur de l'eau faites entre l'île de Genève et la queue d'Arve, à diverses époques, comme depuis 1818 nous avons, à très peu près, la hauteur quotidienne du lac, nous pourrions, de ces observations fluviométriques, déduire le débit relatif du fleuve et le comparer à la hauteur du lac. Nous pourrions ainsi juger la question.

Je ne sais si l'on saurait trouver à Genève quelques observations qui permettraient ce contrôle.

En tous cas, je me permets de proposer qu'à l'avenir on se

mette en mesure d'étudier la question sur ces bases; que l'on fasse dorénavant une ou plusieurs séries d'observations fluviométriques, au-dessous de l'île de Genève, observations qui, plus tard, pourront être parallélisées avec celles du lac.

§ XXXVII. — Instruction pour l'établissement de l'équation d'un limnimètre à flotteur.

La hauteur absolue de l'échelle d'un limnimètre à flotteur ne peut être déterminée directement; il y a lieu de procéder par voie indirecte.

On cherche à mesurer la hauteur de l'eau à un moment donné; une lecture du limnimètre faite au même moment, permet de tirer l'équation de l'instrument. Mais il est fort difficile de déterminer d'une manière exacte la hauteur de l'eau; la surface d'un lac ou d'un port, même en temps calme, est agitée de tant de mouvements, vagues, vibrations, seiches, etc., que la précision suffisante ne s'obtient que par des répétitions nombreuses de l'opération.

Pour épargner le temps et la peine, il y a lieu de procéder de la manière suivante :

Que l'on choisisse pour faire l'opération un jour de grand calme.

Que l'on fixe contre un pilotis une échelle provisoire dont le pied plongera dans l'eau; la règle du géomètre connue sous le nom de double-décimètre suffira parfaitement. Que l'on détermine par un nivellement la hauteur exacte du zéro de cette échelle provisoire.

Que deux observateurs fassent simultanément, à l'appel d'un aide, des lectures chaque minute ou chaque deux minutes, l'un sur l'échelle provisoire, l'autre sur l'échelle du limnimètre à flotteur. Au bout de dix lectures que les observateurs changent de rôle, que celui qui lisait au limnimètre prenne les lectures de l'échelle provisoire, et vice-versa.

La moyenne de vingt lectures suffira pour donner, avec une grande précision, les éléments de l'équation du limnimètre.

§ XXXVIII. — Limnimétrie de l'année 1880.

Je donne la courbe de l'année dans la planche XII, les hauteurs journalières d'après les observations de Morges et de Sécheron ¹ dans le tableau XXIX.

Pour permettre une comparaison utile, je donne dans ma planche deux courbes normales N et N'. La courbe N est celle qui m'a servi dans les Etudes précédentes; elle est fondée sur les moyennes de 25 ans, de 1851 à 1875. La courbe N', sur laquelle je me baserai dorénavant, est calculée d'après les moyennes de 63 ans, de 1818 à 1880. L'incertitude de cette courbe, résultant de l'erreur possible dans l'équation du limnimètre de Vevey de 1818 à 1838, est de $\pm 18^{\text{mm}}$, ce qui à l'échelle du $\frac{1}{10}$ de cette planche donne pour la courbe N' une incertitude de $\pm 2^{\text{mm}}$.

A. *Etude générale de la courbe.* L'hiver de 1879 à 1880 a été remarquable par sa basse température et par sa sécheresse; il est très peu tombé de neige sur les Alpes, et la hauteur du lac s'en est ressentie pendant tout l'été.

Les eaux d'hiver ont été basses par rapport aux hivers précédents, mais en restant cependant bien au-dessus de la hauteur normale. Elles ont présenté très peu d'accidents, entr'autres un très faible maximum secondaire de printemps, au commencement de mai. A la fin de mai le lac est notablement descendu au-dessous de la normale, et il est resté dans cet état jusqu'au milieu de septembre.

La grande crue de l'été a commencé fort tard, le 12 juin seulement, et s'est terminée le 1^{er} août; cette crue a été peu rapide, elle a abouti à un maximum très peu élevé, 2.030 m. Pendant tout l'été les eaux ont été remarquablement peu hautes.

Au milieu de septembre le lac, qui était resté immobile pendant près de deux mois, a commencé sa décrue d'automne. Celle-ci a été interrompue par une crue d'automne tout à fait

¹ Que je dois à l'obligeance de M. Ph. Plautamour.

extraordinaire. Du 21 au 31 octobre le lac est remonté de la cote 1.411 à la cote 1.911 m., faisant une crue de 50 cm. en 10 jours, soit de 50^{mm} en 24 heures. Cette crue excessivement rapide a dépassé en violence la grande crue du printemps de 1877 qui n'avait atteint qu'une valeur de 45^{mm} par jour.

Le maximum secondaire d'automne s'est élevé presque à la même hauteur que le maximum principal d'été; le lac avait le 31 octobre la cote extraordinaire de 1.911 m., s'approchant ainsi de la crue mémorable de novembre 1875 (1.998 m. le 14 novembre 1875).

Pendant novembre et la première moitié de décembre, le lac est descendu rapidement, pour s'arrêter au milieu de décembre à ce qui est actuellement la hauteur normale du lac en hiver, aux cotes 1.1 et 1.2 m.

Dans l'année 1880, le lac est resté pendant 246 jours au-dessus, et pendant 120 jours au-dessous de la courbe normale des 63 dernières années.

B. *Moyennes mensuelles.* Je donne dans la première colonne du tableau suivant les moyennes mensuelles de 1880, dans la seconde colonne la normale de 1818 à 1880, dans la troisième colonne la différence positive ou négative.

| | 1880 | Normale. | Différence. |
|-------------|-------|----------|-------------|
| Janvier . . | 1.155 | 0.928 | + 227 |
| Février . . | 1.020 | 0.888 | + 132 |
| Mars . . . | 1.081 | 0.900 | + 181 |
| Avril . . . | 1.160 | 0.991 | + 169 |
| Mai . . . | 1.269 | 1.204 | + 65 |
| Juin . . . | 1.401 | 1.611 | — 210 |
| Juillet . . | 1.794 | 2.032 | — 238 |
| Août . . . | 1.915 | 2.136 | — 221 |
| Septembre . | 1.869 | 1.876 | — 7 |
| Octobre . . | 1.592 | 1.432 | + 160 |
| Novembre . | 1.675 | 1.160 | + 515 |
| Décembre . | 1.229 | 1.031 | + 198 |

Le lac a été au-dessus de la hauteur normale pendant huit mois de l'année; il a été au-dessous de cette hauteur pendant les mois de juin, juillet, août et même septembre.

Pour trouver un mois de janvier plus bas il faut remonter à 1874

| | | | | |
|---|-------------------------|---|---|------|
| » | février | » | » | 1874 |
| » | mars | » | » | 1875 |
| » | avril | » | » | 1875 |
| » | mai | » | » | 1874 |
| » | juin | » | » | 1859 |
| » | juillet | » | » | 1862 |
| » | août | » | » | 1858 |
| » | septembre | » | » | 1870 |
| » | octobre de même hauteur | | | 1879 |
| » | novembre plus élevé | » | | 1875 |
| » | décembre plus bas | » | | 1873 |

C. *La moyenne annuelle* de 1880 a été 1.430 m. La moyenne normale de 63 ans étant de 1.349 m., le lac de cette année a été en moyenne de 81^{mm} trop élevé.

Dans les vingt dernières années nous ne trouvons de moyennes annuelles plus basses qu'en 1874 et 1862.

D. *Maximum et minimum absolus.* Le minimum de l'année a eu lieu le 17 février, par la cote 0.985 m.; c'est une hauteur d'eau de 243^{mm} plus élevée que la normale, et une date de 5 jours en avance sur la moyenne des plus basses eaux. Il faut remonter jusqu'en 1876 pour trouver un minimum plus bas que celui de cette année.

Le maximum de l'année a eu lieu le 1^{er} août, par la cote 2.030 m. C'est une date de 2 jours en avance sur la normale, et une hauteur d'eau de 229^{mm} inférieure à la moyenne des maximums des 63 dernières années.

Dans les 40 dernières années, on ne connaît en fait de maximums inférieurs à celui de 1880 que ceux de :

| | | |
|------|--------------|----------|
| 1844 | avec la cote | 2.020 m. |
| 1849 | » | 1.935 |
| 1856 | » | 1.836 |
| 1857 | » | 1.640 |

La différence de hauteur entre le maximum et le minimum de l'année, ce que nous avons appelé l'amplitude de la variation estivale, n'a été cette année que de 1.045 m. C'est un chiffre très faible, la moyenne de cette variation étant 1.542 m.

E. *Durée des hautes eaux.* Ce paragraphe qui a été si important dans les résumés des années précédentes reste en blanc cette année, car il n'y a pas eu de période de très hautes eaux.

F. *Répartition proportionnelle des hauteurs d'eau.* Pendant l'année 1880 le lac s'est maintenu dans le décimètre indiqué par la cote, pendant le nombre de jours suivants :

| Cote. | Jours. | Cote. | Jours. |
|------------------|--------|------------------|--------|
| 0.9 ^m | 6 | 1.5 ^m | 21 |
| 1.0 | 62 | 1.6 | 32 |
| 1.1 | 51 | 1.7 | 19 |
| 1.2 | 57 | 1.8 | 43 |
| 1.3 | 22 | 1.9 | 31 |
| 1.4 | 16 | 2.0 | 6 |

Si je réunis ces chiffres par hauteur de 50 cm., je puis les comparer à la moyenne des neuf dernières années 1871-1879.

| | Cotes. | | Moyenne de 9 ans. 1880. | | Différence. |
|--------------------|--------|-------|-------------------------|--------|-------------|
| | m. | m. | Jours. | Jours. | Jours. |
| Très hautes eaux . | 2.5 | à 3.0 | 29 | 0 | — 29 |
| Hautes eaux . . | 2.0 | à 2.5 | 70 | 6 | — 64 |
| Eaux moyennes . | 1.5 | à 2.0 | 96 | 146 | + 50 |
| Basses eaux. . . | 1.0 | à 1.5 | 152 | 208 | + 56 |
| Très basses eaux . | 0.5 | à 1.0 | 18 | 6 | — 12 |

Ce qui signifie que si nous comparons 1880 aux neuf années précédentes, il y a eu dans cette année moins de très hautes, de hautes et de très basses eaux, et plus d'eaux moyennes et de basses eaux.

En résumé l'année 1880 a été remarquable par le peu d'élévation des hautes eaux d'été et par le maintien à une cote élevée des basses eaux d'hiver; la variation estivale a été réduite à une valeur relativement très faible. Enfin il y a eu une crue d'automne tout à fait extraordinaire.

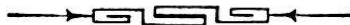


Tableau XXI.

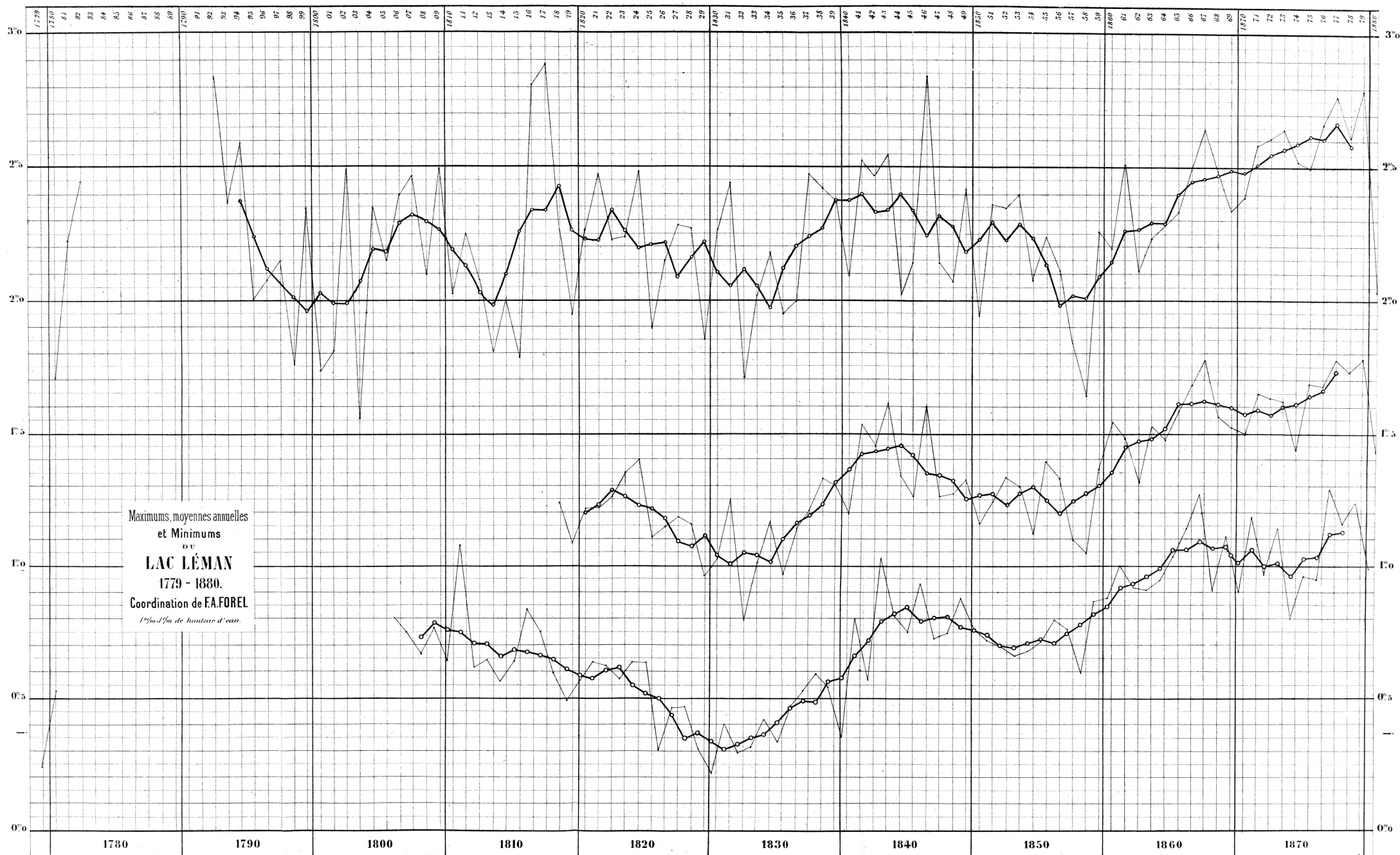
Moyennes mensuelles et annuelles, maximums et minimums du lac Léman. — 1817 à 1880.

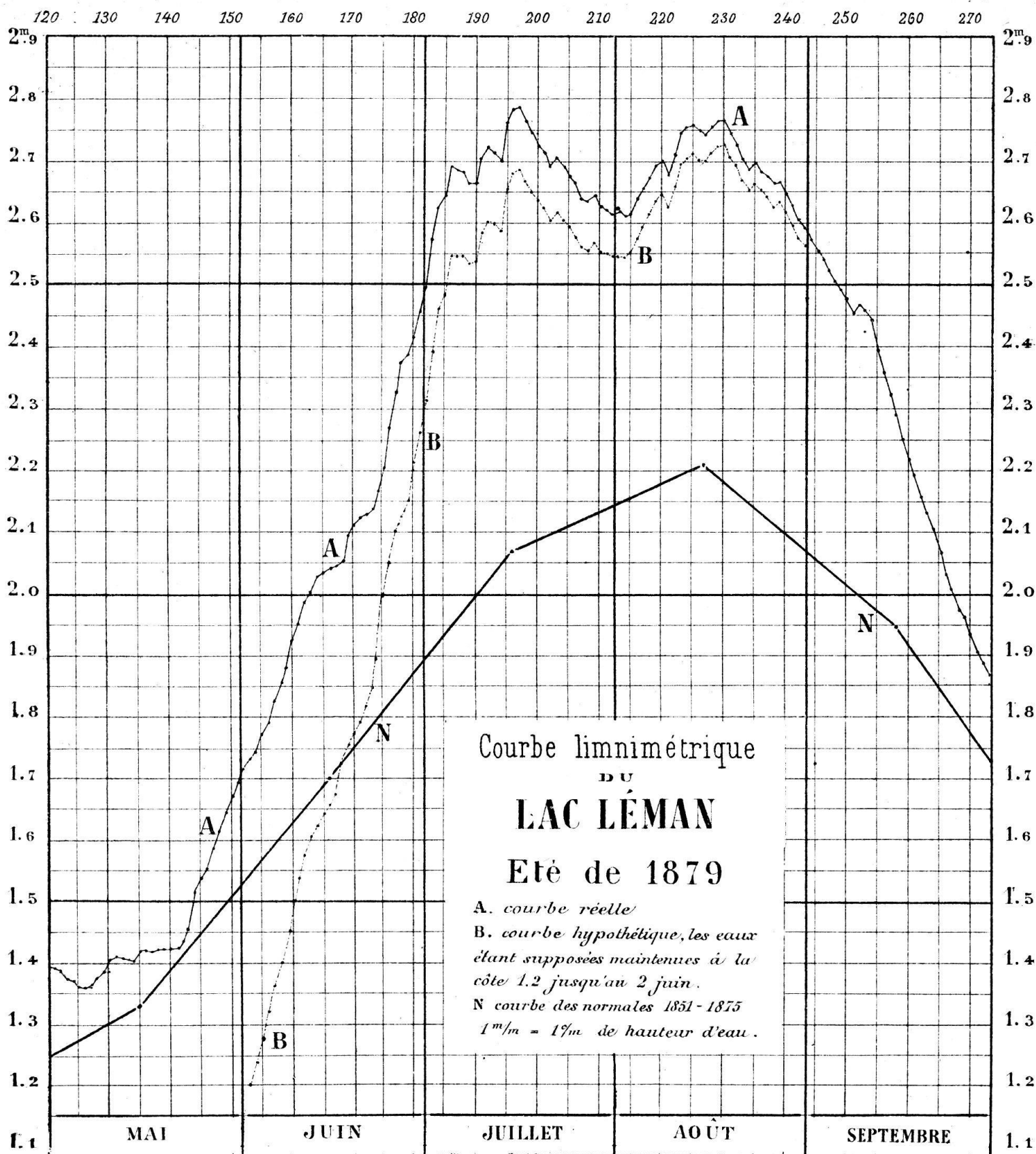
| | Janvier. | Février. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Juillet. | Août. | Septemb. | Octobre. | Novemb. | Décemb. | Moyenne. | Maximum. | Minimum. |
|------|----------|----------|-------|--------|------|-------|----------|-------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|
| 1817 | | | | | | | | | | | 1025 | 748 | | | |
| 18 | 644 | 680 | 863 | 895 | 1426 | 1607 | 2007 | 2129 | 1704 | 1321 | 888 | 663 | 1236 | 2259 | 602 |
| 19 | 512 | 595 | 688 | 908 | 862 | 1170 | 1785 | 1864 | 1580 | 1090 | 1035 | 955 | 1087 | 1946 | 499 |
| 1820 | 1131 | 962 | 671 | 692 | 898 | 1186 | 1625 | 2160 | 1893 | 1342 | 1231 | 804 | 1216 | 2264 | 577 |
| 21 | 845 | 783 | 783 | 965 | 1099 | 1162 | 1639 | 2284 | 2155 | 1468 | 941 | 514 | 1220 | 2472 | 643 |
| 22 | 853 | 707 | 668 | 749 | 1030 | 1596 | 1986 | 2068 | 2142 | 1451 | 943 | 870 | 1255 | 2227 | 627 |
| 23 | 636 | 913 | 861 | 817 | 1277 | 1783 | 2119 | 2139 | 1993 | 1558 | 1074 | 929 | 1342 | 2239 | 577 |
| 24 | 835 | 725 | 732 | 688 | 1285 | 1685 | 2098 | 2384 | 1953 | 1595 | 1593 | 1242 | 1401 | 2484 | 636 |
| 25 | 837 | 656 | 713 | 775 | 880 | 1105 | 1617 | 1829 | 1653 | 1218 | 1100 | 903 | 1107 | 1897 | 636 |
| 26 | 626 | 475 | | | | 1002 | 1680 | 1979 | 1858 | | 881 | 761 | 1048 | 2150 | 308 |
| 27 | 626 | 528 | 785 | 922 | 1289 | 1734 | 2119 | 2162 | 1524 | 1076 | 756 | 663 | 1182 | 2282 | 468 |
| 28 | 766 | 587 | 528 | 670 | 962 | 1345 | 1990 | 2196 | 1973 | 1416 | 847 | 595 | 1156 | 2270 | 472 |
| 29 | 390 | 341 | 380 | 533 | 727 | 856 | 1489 | 1600 | 1651 | 1680 | 1135 | 793 | 965 | 1855 | 309 |
| 1830 | 400 | 243 | 289 | 629 | 866 | 1174 | 1941 | 2162 | 1809 | 1272 | 898 | 653 | 1028 | 2264 | 224 |
| 31 | 484 | 517 | 713 | 710 | 1081 | 1598 | 1917 | 2287 | 2308 | 1465 | 1098 | 854 | 1253 | 2436 | 407 |
| 32 | 619 | 414 | 309 | 365 | 533 | 947 | 1392 | 1560 | 1378 | 846 | 695 | 511 | 797 | 1708 | 297 |
| 33 | 367 | 521 | 523 | 541 | 1049 | 1663 | 1948 | 1665 | 1380 | 1044 | 744 | 737 | 1015 | 2019 | 321 |
| 34 | 1182 | 922 | 590 | 453 | 876 | 1365 | 1993 | 2081 | 1927 | 1255 | 820 | 592 | 1171 | 2173 | 429 |
| 35 | 385 | 367 | 460 | 572 | 822 | 1291 | 1534 | 1851 | 1549 | 1289 | 913 | 658 | 974 | 1946 | 340 |
| 36 | 499 | 518 | 715 | 967 | 978 | 1267 | 1910 | 1709 | 1619 | 1206 | 993 | 1282 | 1139 | 2001 | 468 |
| 37 | 900 | 663 | 580 | 582 | 915 | 1421 | 2262 | 2403 | 2025 | 1196 | 832 | 703 | 1207 | 2479 | 528 |
| 38 | 727 | 632 | 782 | 899 | 1116 | 1793 | 2304 | 2086 | 1759 | 1348 | 1182 | 1094 | 1310 | 2431 | 598 |
| 39 | 732 | 570 | 696 | 780 | 1021 | 1674 | 2181 | 2212 | 1942 | 1698 | 1248 | 899 | 1304 | 2370 | 549 |
| 1840 | 897 | 869 | 512 | 407 | 752 | 1322 | 1594 | 1770 | 1887 | 1404 | 1658 | 1331 | 1200 | 2084 | 356 |
| 41 | 871 | 854 | | 1028 | 1429 | 1896 | 2357 | 2224 | 1976 | 1840 | 1537 | 1388 | 1528 | 2520 | 797 |
| 42 | 1020 | 656 | 823 | 1072 | 1242 | 1709 | 2276 | 2330 | 2000 | 1523 | 1372 | 1317 | 1445 | 2466 | 567 |
| 43 | 1280 | 1390 | 1158 | 1131 | 1343 | 1891 | 2182 | 2476 | 2133 | 1734 | 1524 | 1068 | 1609 | 2544 | 1024 |
| 44 | 871 | 868 | 1026 | 996 | 1279 | 1462 | 1987 | 1980 | 1712 | 1568 | 1315 | 902 | 1330 | 2020 | 804 |
| 45 | 769 | 775 | 903 | 965 | 912 | 1460 | 2048 | 1959 | 1626 | 1492 | 1016 | 1163 | 1257 | 2133 | 744 |
| 46 | 1080 | 1119 | 957 | 1247 | 1417 | 2132 | 2742 | 2615 | 2161 | 1587 | 1161 | 1031 | 1604 | 2834 | 930 |
| 47 | 791 | 956 | 820 | 999 | 1328 | 1875 | 1897 | 2089 | 1630 | 1034 | 811 | 856 | 1257 | 2133 | 724 |
| 48 | 775 | 844 | 1142 | 1219 | 1178 | 1597 | 1976 | 1882 | 1530 | 1030 | 1038 | 954 | 1268 | 2063 | 744 |
| 49 | 1034 | 931 | 895 | 969 | 1271 | 2015 | 2287 | 1926 | 1452 | 1210 | 880 | 972 | 1320 | 2412 | 877 |
| 1850 | 908 | 1024 | 906 | 853 | 837 | 1443 | 1842 | 1802 | 1432 | 1056 | 887 | 1032 | 1152 | 1935 | 755 |
| 51 | 925 | 862 | 776 | 943 | 1013 | 1277 | 1755 | 2280 | 1834 | 1396 | 976 | 796 | 1236 | 2355 | 715 |
| 52 | 840 | 907 | 738 | 828 | 916 | 1204 | 1738 | 2190 | 2215 | 1891 | 1375 | 1108 | 1329 | 2345 | 695 |
| 53 | 949 | 852 | 743 | 858 | 1106 | 1532 | 2246 | 2237 | 1985 | 1365 | 926 | 737 | 1294 | 2395 | 645 |
| 54 | 724 | 785 | 808 | 938 | 964 | 1051 | 1729 | 1990 | 1583 | 1085 | 804 | 960 | 1119 | 2075 | 675 |
| 55 | 973 | 1061 | 1132 | 1099 | 1134 | 1713 | 2096 | 2055 | 1856 | 1511 | 1176 | 826 | 1386 | 2231 | 710 |
| 56 | 945 | 1185 | 906 | 1055 | 1330 | 1987 | 1974 | 1984 | 1670 | 1180 | 805 | 874 | 1325 | 2110 | 790 |
| 57 | 929 | 814 | 781 | 947 | 896 | 1140 | 1446 | 1760 | 1563 | 1164 | 852 | 805 | 1091 | 1836 | 759 |
| 58 | 666 | 600 | 646 | 974 | 996 | 1243 | 1398 | 1571 | 1344 | 1088 | 938 | 1051 | 1043 | 1640 | 593 |
| 59 | 993 | 950 | 993 | 1188 | 1238 | 1399 | 1977 | 2162 | 1629 | 1158 | 1398 | 1192 | 1356 | 2251 | 862 |
| 1860 | 1170 | 945 | 1025 | 1250 | 1489 | 1934 | 2129 | 1968 | 2179 | 1846 | 1310 | 1179 | 1535 | 2190 | 874 |
| 61 | 1111 | 1008 | 1134 | 1263 | 1172 | 1699 | 2212 | 2393 | 1938 | 1313 | 1225 | 1239 | 1476 | 2507 | 998 |
| 62 | 1030 | 1136 | 961 | 1044 | 1108 | 1485 | 1666 | 1973 | 1705 | 1343 | 1258 | 1032 | 1312 | 2104 | 919 |
| 63 | 998 | 1106 | 1158 | 1268 | 1365 | 1809 | 2145 | 2066 | 2085 | 1785 | 1313 | 1138 | 1520 | 2226 | 906 |
| 64 | 1039 | 961 | 1037 | 1151 | 1483 | 1892 | 2160 | 2195 | 1891 | 1381 | 1262 | 1187 | 1470 | 2279 | 941 |
| 65 | 1059 | 1319 | 1285 | 1262 | 1604 | 1781 | 2021 | 2217 | 2165 | 1558 | 1370 | 1271 | 1576 | 2326 | 1030 |
| 66 | 1195 | 1448 | 1335 | 1206 | 1425 | 1833 | 2307 | 2390 | 2329 | 1901 | 1324 | 1438 | 1677 | 2493 | 1134 |
| 67 | 1549 | 1518 | 1448 | 1615 | 1897 | 2374 | 2573 | 2299 | 2116 | 1617 | 1201 | 1044 | 1770 | 2643 | 1266 |
| 68 | 940 | 925 | 1001 | 1123 | 1616 | 2080 | 2158 | 2339 | 2006 | 1823 | 1322 | 1353 | 1557 | 2478 | 903 |
| 69 | 1465 | 1230 | 1185 | 1201 | 1512 | 1911 | 1954 | 2158 | 1840 | 1410 | 1098 | 1242 | 1517 | 2331 | 1101 |
| 1870 | 1072 | 931 | 946 | 974 | 1255 | 1768 | 2080 | 2248 | 1804 | 1524 | 1798 | 1571 | 1498 | 2382 | 900 |
| 71 | 1253 | 1250 | 1323 | 1445 | 1624 | 1747 | 2298 | 2379 | 2155 | 1869 | 1304 | 1065 | 1643 | 2580 | 1176 |
| 72 | 1004 | 1095 | 1224 | 1275 | 1435 | 1843 | 2220 | 2517 | 2044 | 1670 | 1650 | 1580 | 1629 | 2607 | 963 |
| 73 | 1322 | 1161 | 1389 | 1534 | 1420 | 1587 | 2342 | 2511 | 2160 | 1566 | 1232 | 1164 | 1616 | 2640 | 1137 |
| 74 | 1020 | 882 | 813 | 963 | 1194 | 1648 | 2176 | 2417 | 1988 | 1520 | 1193 | 1319 | 1428 | 2517 | 798 |
| 75 | 1283 | 1182 | 1013 | 1011 | 1564 | 2131 | 2400 | 2401 | 2076 | 1733 | 1856 | 1535 | 1682 | 2493 | 954 |
| 76 | 1218 | 1046 | 1647 | 1645 | 1619 | 2075 | 2583 | 2582 | 2134 | 1681 | 1339 | 1495 | 1672 | 2661 | 945 |
| 77 | 1452 | 1446 | 1392 | 1437 | 1660 | 2437 | 2716 | 2534 | 2178 | 1357 | 1255 | 1404 | 1772 | 2761 | 1287 |
| 78 | 1319 | 1191 | 1199 | 1444 | 1912 | 2277 | 2360 | 2305 | 2285 | 1575 | 1481 | 1401 | 1729 | 2612 | 1156 |
| 79 | 1564 | 1534 | 1300 | 1340 | 1454 | 2054 | 2680 | 2689 | 2252 | 1592 | 1457 | 1301 | 1776 | 2788 | 1235 |
| 1880 | 1155 | 1020 | 1081 | 1160 | 1269 | 1401 | 1794 | 1915 | 1869 | 1592 | 1675 | 1229 | 1430 | 2030 | 985 |

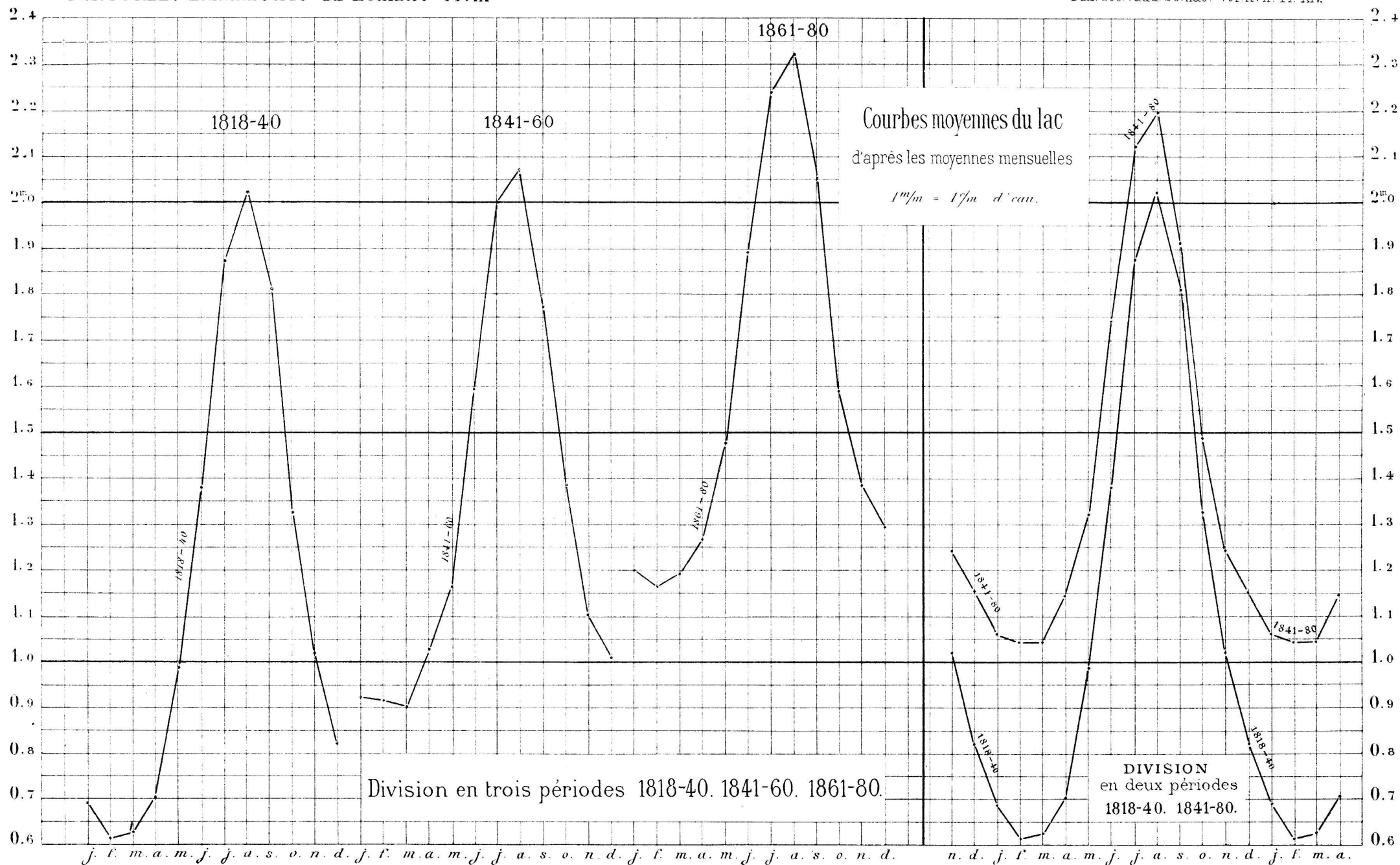
Tableau XXIX.

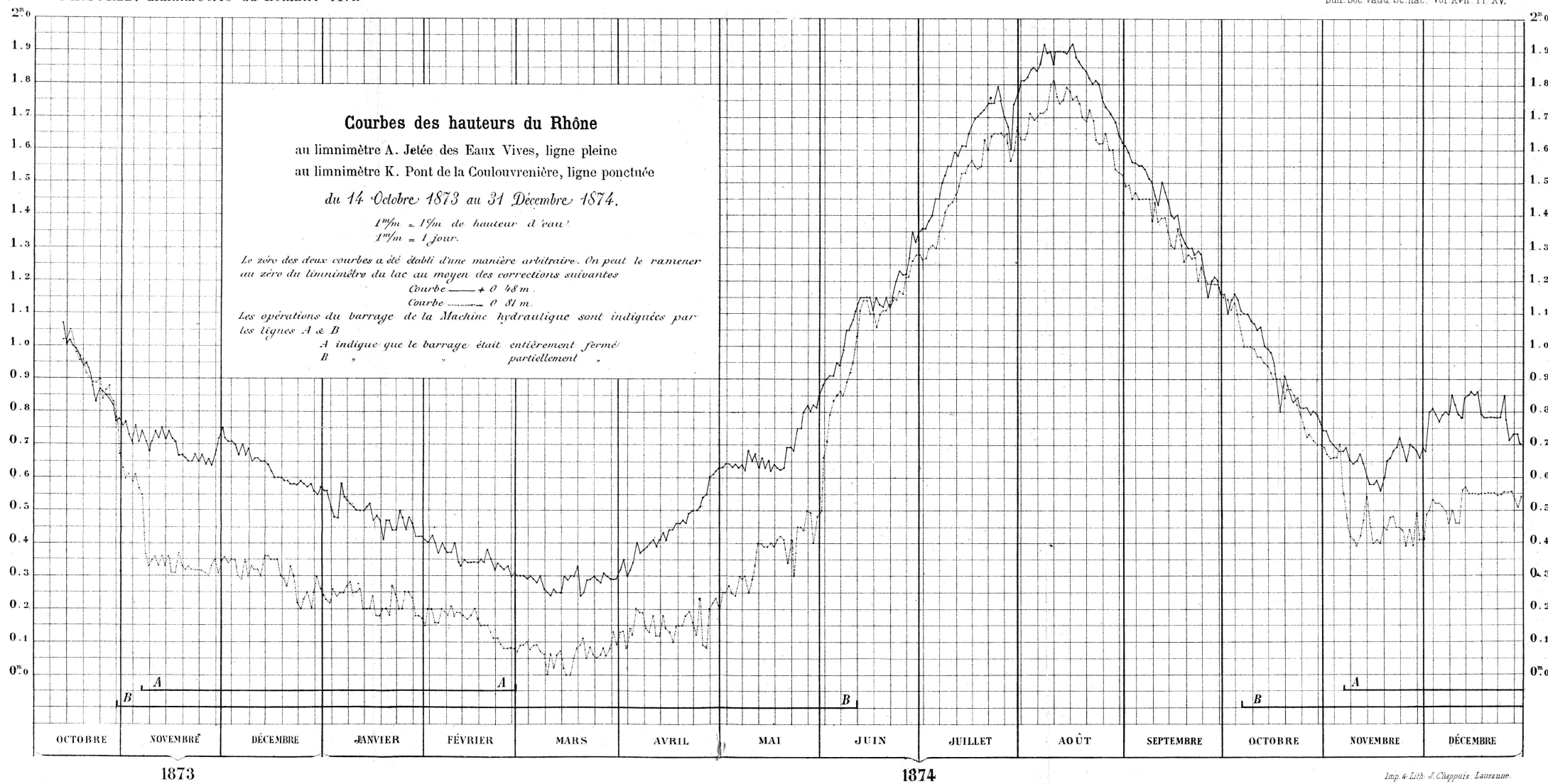
Année limnimétrique 1880. Observations de Morges (et de Sécheron [}]).

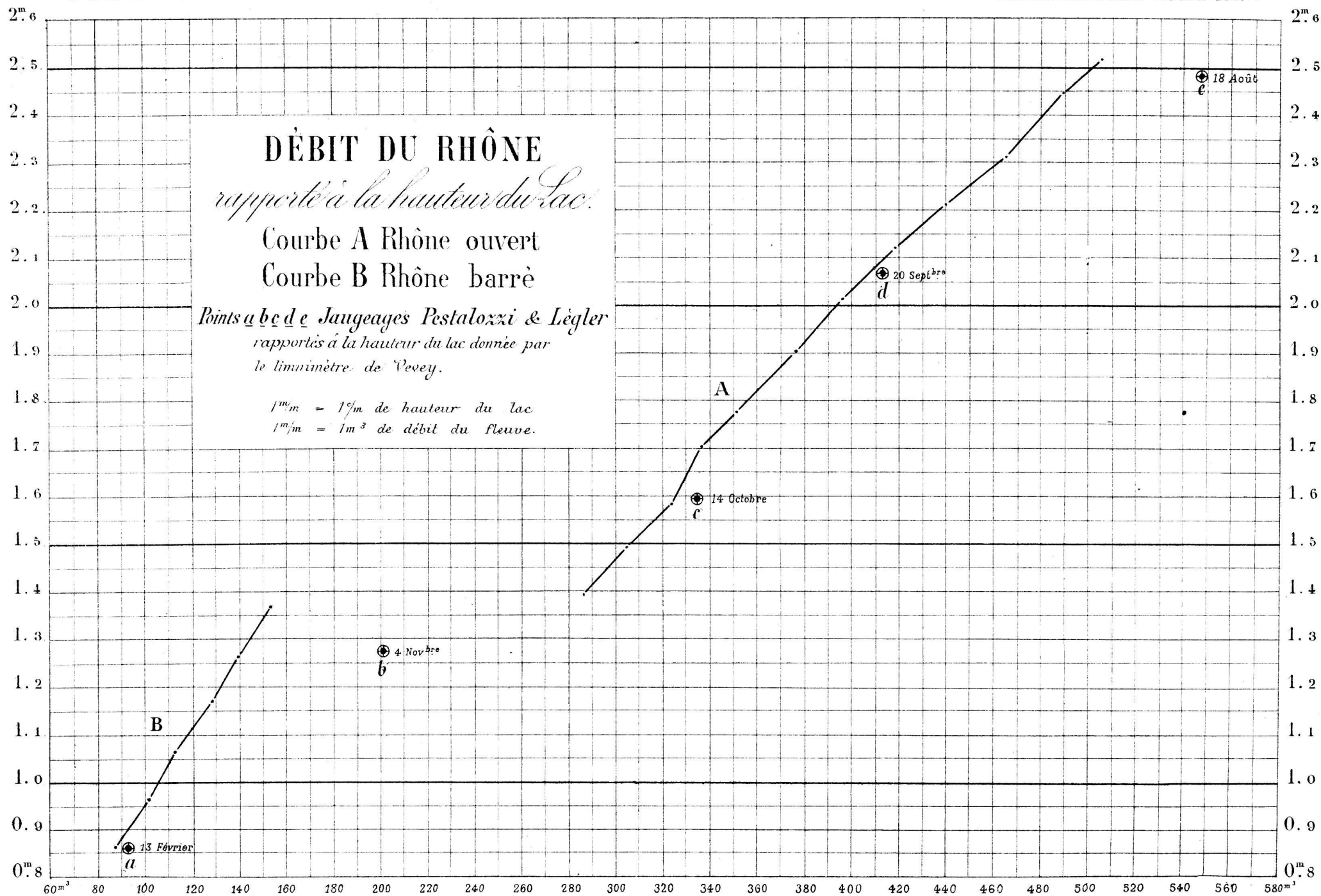
| | Janvier. | Février. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. | Juillet. | Août. | Septembre | Octobre. | Novembre | Décembre |
|----|----------|----------|-------|--------|-------|-------|----------|-------|-----------|----------|----------|----------|
| | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. | m. |
| 1 | 1.214 | 1.042 | 1.051 | 1.060 | 1.307 | 1.233 | 1.596 | 2.030 | 1.894 | 1.675 | 1.903 | 1.407 |
| 2 | 22 | 37 | 44 | 71 | 11 | 40 | 1.612 | 22 | 90 | 48 | 1.898 | 1.377 |
| 3 | 21 | 32 | 43 | 65 | 21 | 34 | 27 | 25 | 86 | 26 | 63 | 68 |
| 4 | 25 | 27 | 43 | 76 | 27 | 41 | 49 | 20 | 81 | 07 | 56 | 51 |
| 5 | 20 | 22 | 56 | 1.104 | 31 | 35 | 64 | 1.987 | 75 | 1.585 | 41 | 25 |
| 6 | 18 | 15 | 60 | 10 | 38 | 40 | 52 | 77 | 84 | 68 | 17 | 24 |
| 7 | 12 | 10 | 70 | 16 | 33 | 29 | 50 | 70 | 90 | 64 | 1.795 | 04 |
| 8 | 10 | 07 | 74 | 35 | 20 | 31 | 58 | 79 | 83 | 77 | 71 | 1.287 |
| 9 | 04 | 03 | 77 | 48 | 11 | 26 | 70 | 75 | 84 | 78 | 85 | 65 |
| 10 | 03 | 0.999 | 84 | 47 | 04 | 34 | 1.700 | 40 | 96 | 62 | 77 | 51 |
| 11 | 1.195 | 1.005 | 89 | 41 | 00 | 38 | 14 | 13 | 1.901 | 48 | 54 | 35 |
| 12 | 93 | 00 | 94 | 43 | 1.283 | 75 | 31 | 1.899 | 03 | 56 | 38 | 15 |
| 13 | 78 | 00 | 99 | 41 | 73 | 1.314 | 55 | 74 | 11 | 44 | 10 | 1.188 |
| 14 | 73 | 0.998 | 1.103 | 39 | 65 | 40 | 59 | 66 | 14 | 17 | 1.691 | 67 |
| 15 | 73 | 91 | 02 | 37 | 55 | 56 | 58 | 52 | 22 | 1.494 | 75 | 65 |
| 16 | 62 | 88 | 1.099 | 43 | 51 | 73 | 68 | 53 | 21 | 72 | 45 | 61 |
| 17 | 55 | 85 | 1.103 | 42 | 48 | 1.403 | 80 | 57 | 29 | 59 | 43 | 66 |
| 18 | 55 | 97 | 1.097 | 52 | 57 | 39 | 92 | 51 | 14 | 44 | 27 | 67 |
| 19 | 58 | 1.004 | 95 | 54 | 1.310 | 65 | 1.809 | 48 | 1.892 | 33 | 21 | 63 |
| 20 | 45 | 04 | 94 | 58 | 1.252 | 1.504 | 32 | 45 | 1.909 | 20 | 25 | 59 |
| 21 | 31 | 10 | 98 | 69 | 31 | 56 | 66 | 52 | 10 | 11 | 05 | 52 |
| 22 | 18 | 25 | 98 | 79 | 15 | 79 | 1.903 | 62 | 1.893 | 45 | 1.587 | 61 |
| 23 | 21 | 45 | 91 | 95 | 13 | 1.602 | 25 | 88 | 73 | 1.504 | 65 | 58 |
| 24 | 09 | 55 | 85 | 1.203 | 09 | 12 | 44 | 1.904 | 54 | 1.613 | 52 | 53 |
| 25 | 1.097 | 58 | 85 | 14 | 03 | 16 | 45 | 10 | 30 | 67 | 33 | 48 |
| 26 | 85 | 57 | 85 | 25 | 00 | 16 | 51 | 05 | 04 | 77 | 11 | 80 |
| 27 | 76 | 56 | 82 | 71 | 03 | 10 | 54 | 02 | 1.779 | 96 | 1.492 | 94 |
| 28 | 67 | 55 | 82 | 75 | 18 | 06 | 88 | 1.895 | 51 | 1.802 | 77 | 1.213 |
| 29 | 60 | 52 | 78 | 89 | 50 | 00 | 93 | 83 | 17 | 58 | 58 | 20 |
| 30 | 54 | | 74 | 98 | 68 | 1.594 | 2.012 | 80 | 1.690 | 89 | 38 | 37 |
| 31 | 47 | | 75 | | 45 | | 13 | 89 | | 1.911 | | 37 |

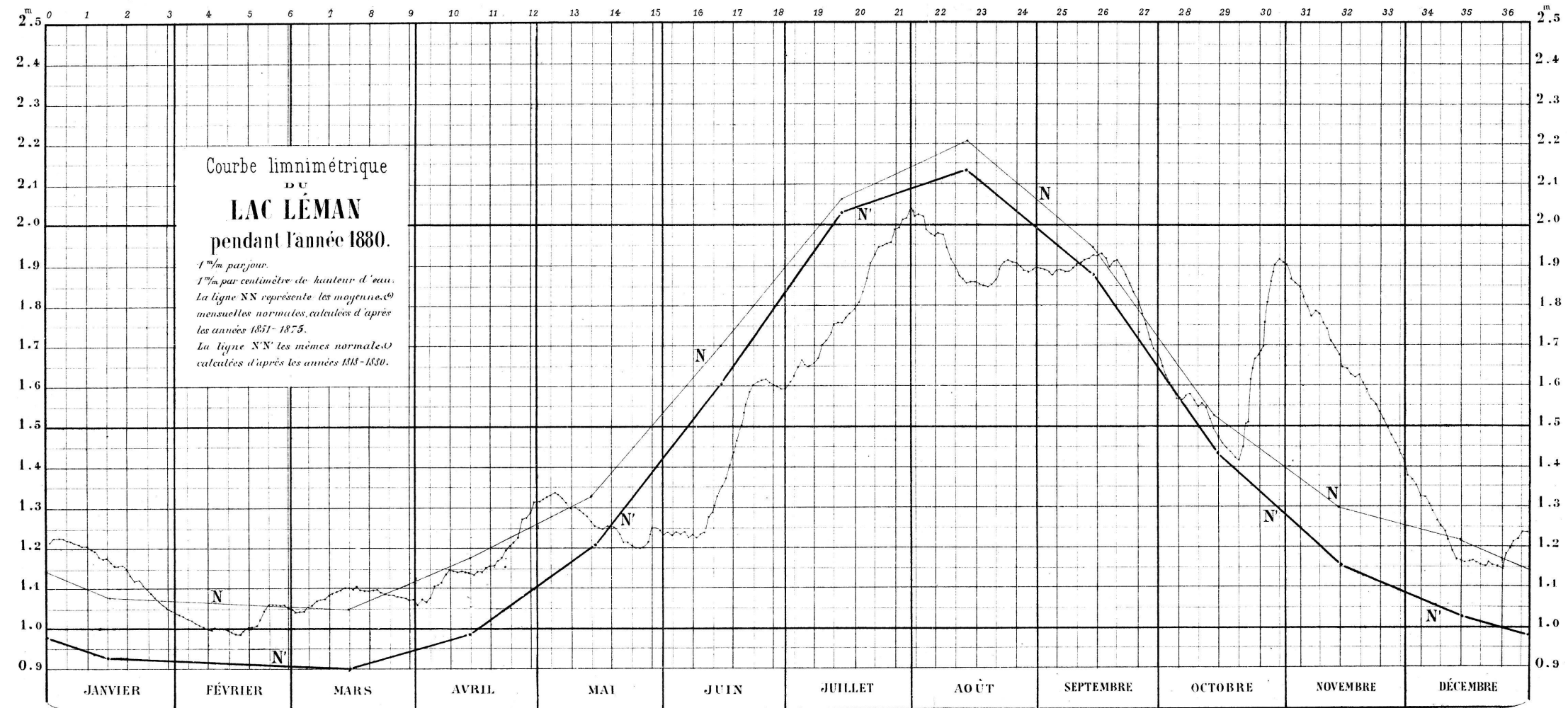












1880.

Imp. & Lith. J. Chappuis, Lausanne.