Quelques études sur les Lacs de Joux

Autor(en): **Forel, F.-A.**

Objekttyp: **Article**

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

Band (Jahr): **33 (1897)**

Heft 124

PDF erstellt am: **27.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-265054

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

QUELQUES ÉTUDES

SUR

LES LACS DE JOUX

PAR

F.-A. FOREL

1° La limnimétrie. — 2° Les crues des lacs. — 3° L'entonnoir de Bon-Port. — 4° Dates de la congélation des lacs. — 5° Fentes et fendues de la glace des lacs.

I. La limnimétrie.

La limnimétrie ou étude de la hauteur des eaux d'un lac a de l'importance pour divers intérêts. Les habitants des maisons riveraines, les propriétaires de terrains voisins du lac, les industriels et usiniers qui utilisent les eaux, les pêcheurs et bateliers, suivent avec attention les variations du niveau de l'eau, qui causent aux uns et aux autres du détriment si elles s'éloignent trop des valeurs moyennes, soit en hautes eaux, soit en basses eaux. Le naturaliste étudie avec soin ces variations, car il y trouve une intégration des facteurs compliqués qui régissent le climat.

Nous espérons qu'un résumé de la limnimétrie des lacs de Joux pourra présenter quelque intérêt.

Voici les éléments géographiques des lacs de Joux:

	Lac de Joux	Lac Brenet.	Les deux lacs.
Latitude N.	—	—	46°38′
Altitude	—	—	1008 m.
Superfic. du bassin d'alimentation .	—	—	211 km².
Superficie du lac .	8,6 km².	0,8 km².	9,4 km².
Volume des eaux .	154,000,000 m³	6,000,000 m³	160,000,000 m³.
Profond. moyenne	18 m.	9 m.	—
Prof. maximale .	33,6 m.	20,3 m.	—

Les deux lacs, lac de Joux et lac Brenet, communiquent entre eux par un chenal, largement ouvert, de quelques centaines de mètres de long, dans lequel le courant est à peine appréciable. On peut admettre que la nappe d'eau est à la même hauteur dans les deux bassins.

Pour l'étude de la hauteur des eaux des lacs de Joux nous disposons des documents que le Bureau vaudois des ponts et chaussées a mis fort obligeamment à notre disposition. Les observations limnimétriques remontent jusqu'à l'année 1847 et ont été continuées presque sans interruption jusqu'à nos jours; nous avons environ 48 années d'observations plus ou moins complètes et valables; c'est une période suffisante pour nous faire connaître les allures des variations.

Malheureusement, les règles limnimétriques ont souvent été déplacées ou emportées par des accidents, et il est difficile de trouver un repérage suffisamment certain des anciennes observations. Nous allons cependant essayer de le chercher d'après les documents à notre portée.

Les observations limnimétriques des lacs ont été faites, de 1847 à nos jours, sur une série d'échelles, L, qui ont présenté les péripéties suivantes:

L 1847, gradué en pouces vaudois.
L 1859, » » placé 5 pouces plus haut.
L 1862, » » placé 7 pouces plus bas.
L 1869, » » placé 3 pouces plus haut.
L 1887, gradué en centimètres, placé 5.325 m. plus bas.

Voici les notes et les observations sur lesquelles nous nous basons pour établir le repérage de ces diverses échelles et l'équation que nous leur attribuons. Nous remonterons des temps modernes aux époques plus anciennes.

Le limnimètre qui existe actuellement est une règle graduée en centimètres, décimètres et mètres, fixée à la culée du pont entre le lac de Joux et le lac Brenet. Il a été installé le 13 septembre 1887. Le trait de la règle qui porte la cote 1011.0 m. est à 0.52 m. au-dessous du sommet de la pyramide du dé en pierre du pont, à 0.475 m. de la base de cette pyramide[1]. Dans la discus-

[1] Le sommet de la pyramide portant la cote d'altitude absolue (A. A.) 1011.832 m. le zéro du limnimètre de 1887, Z J est à la cote A.A. 1000.312 m. ou R. P. N. + 623.452 m.

sion ultérieure, nous prendrons pour *zéro limnimétrique* du lac de Joux, Z J, le zéro de cette règle, Z J. 0 = 11.52 m. au-dessous du sommet de la pyramide[1]. Nous désignerons cette règle actuelle sous la lettre L 1887.

Les renseignements que nous avons sur l'altitude absolue du zéro du limnimètre actuel du Pont sont assez divergents.

1° D'après M. J. Epper, ingénieur au Bureau hydrométrique de l'Inspectorat fédéral des travaux publics, le sommet de la pyramide du pont entre deux lacs est à l'altitude absolue 1011.832 m. Le chiffre 11.0 m. de la règle est à 52 cm. au-dessous de ce sommet. Le zéro de la règle soit Z J, est donc à A A[2] 1000.312 m.

2° D'après le nivellement du 18 novembre 1884 de M. Ch Guiguer de Prangins, du Bureau vaudois des Ponts et chaussées, le zéro du limnimètre de 1869 était à A A 1005.060 m. D'après les lectures du 13 septembre 1887 :

L 1869 59.5″ soit 1.785 m. = L 1887 1007.11 m.
Donc L 1869 Zéro = L 1887 1005.325 m.
Donc Z J = A A : 1000.265 m.

3° D'après une lettre de M. J. Hörnlimann, ingénieur au Bureau topographique fédéral, du 19 juin 1892, le zéro du limnimètre du Pont est de 50 cm. trop élevé.

Par conséquent Z J = A A : 1000.50 m.

Ou en résumé :

D'après M. J. Epper . . . . . Z J = A A : 1000.312 m.
» M. Guiguer de Prangins Z J = A A : 1000.265 m.
» M. J. Hörnlimann. . . Z J = A A : 999.812 m.

Il est à désirer que cette altitude absolue du zéro du limnimètre du Pont, qui sert de base à tous les calculs et observations limnimétriques des lacs, soit fixée et établie d'une manière assurée et définitive.

Le limnimètre qui a précédé celui de 1887 avait été posé le 3 avril 1869. C'était une règle divisée en pouces de 30 mm. L'installation nouvelle avait été faite à la suite de l'arrachement de la règle pendant l'ouragan du 2 mars 1869. La cote du L 1869 se rapporte à celle de L 1887, et par conséquent à Z J, par le calcul suivant :

[1] Notes de M. J. Epper, ingénieur au Bureau hydrométrique fédéral.

[2] Par A. A., altitude absolue, j'indique l'altitude au-dessus de la mer.

	L. 1869.	L 1887.	ZJ
12 septembre 1887	60.5 pouces = 1.815 m.		
13 » »	59.5 » = 1.785 m.	1007.11 m.	7.11 m.

D'après cela, le zéro de L 1869 serait ZJ + 5.325 m.[1].

Pendant l'existence en place de L 1869, il ne semble pas qu'il y ait eu de déplacements ou d'accidents graves[2]. Le 17 janvier 1887, la règle a été arrachée et remise en place le lendemain. Je trouve l'inscription suivante sur le cahier des observations « limnimètre emporté entre ces deux opérations », signé « Louis-Samuel Rochat ». La mise en place semble avoir été faite attentivement; en effet, les lectures journalières se suivent dans un ordre normal :

16 janvier . . .	77 pouces.	
17 » . . .	76 »	
		(accident).
18 » . . .	75.5 »	
19 » . . .	74.5 »	

Le limnimètre de 1869 était la même règle qui avait été établie en 1862. Voici l'inscription que nous trouvons dans le registre des observations, de l'écriture de L. Rochat :

« Le 3 avril 1869, le limnimètre a été replacé à 3 pouces plus haut que précédemment. Il a été arraché par l'ouragan le 2 mars. Le 3 avril, l'eau est à 71 pouces, calcul ancien, à 68 pouces d'après la règle posée à nouveau[3]. »

D'après cela, le calcul suivant nous donne l'équation probable du limnimètre de 1862.

L 1869	ZJ 5.325 m.
Moins 3 pouces	0.090
L 1862	ZJ 5.235

[1] Le nivellement de M. l'ingénieur Ch. Guiguer de Prangins, du 18 nov. 1884, donne pour la cote absolue du zéro de L 1869 1005.06 m. soit ZJ + 5.060. Cette différence de 0.265 m. doit provenir de l'incertitude dans l'altitude absolue du zéro de L 1887.

[2] Au mois de novembre 1869, nous avons la note suivante : « Le limnimètre, dont les graduations étaient effacées, a dû être réparé le 14 novembre; le 4 décembre, il a été remis à sa place primitive; signé : L. Rochat. » Nous n'avons pas de ce fait à changer l'équation de l'appareil.

[3] Autre note sur le même événement : « Le limnimètre arraché par l'ouragan le 2 mars n'a été retrouvé qu'à la fin du mois. Le 3 avril, il a été replacé provisoirement à 3 pouces plus haut. Signé : L. Rochat. »

Le limnimètre de 1862 était la même règle qui avait été placée en 1859. L'opération de son établissement est racontée comme suit dans le cahier d'observations, sans signature d'auteur : « Le limnimètre a été déplacé le 15 juillet 1862 pour peindre à nouveau des graduations effacées; il a été replacé le 29, mais à 6 ou 8 pouces plus bas[1].» Prenons le chiffre moyen 7 pouces, ou 21 cm.; nous faisons ce calcul :

L 1862	ZJ 5.235 m.
Plus 7 pouces	+ 0.210
L 1859	ZJ 5.445

L'incertitude de cette opération est comme on le voit de ± 3 cm.

Le limnimètre de 1859 a été mis en place le 7 avril à l'occasion d'une réparation.

45 pouces du L 1859 = 50 pouces de l'échelle précédente; par conséquent le zéro a été haussé de 5 pouces ou 15 cm.

Par conséquent si zéro de L 1859 = ZJ 5.445 m.

zéro de L 1847 = ZJ 5.295 m.

Nous appelons règle de 1847 celle qui a été remise en place en 1859. Voici sur quoi nous nous fondons tout en constatant qu'il y a ici une forte incertitude : Nous possédons une série d'observations, très soigneusement faites par Alexandre Rochat, buraliste (postal), allant du 3 janvier 1847 au 7 décembre 1856. Puis une interruption, puis des observations, trop clairsemées, reprennent le 1er juin 1858, sans signature[2], sans explications, sans que rien indique si c'est sur une nouvelle règle ou sur l'ancienne. Ce qui nous fait supposer que la règle de 1858 était la même qu'en 1856 et 1847 c'est l'opération de peinture à nouveau faite en 1862; en quatre ans les traces ne se seraient pas effacées assez pour qu'on dût procéder sitôt à une remise à neuf

[1] Dans une note de M. Ch. Kopp (Bull. Soc. sc. nat.. Neuchâtel, VII, p. 598), nous lisons : « En 1859, le limnimètre ayant été réparé, le zéro fut haussé de 5 pouces. En 1862, le limnimètre devant être de nouveau réparé fut enlevé et le zéro abaissé de nouveau de 5 pouces. » Il y a divergence entre ce chiffre de 5 pouces pour l'opération de 1862 et celui de 6 ou 8 pouces donné dans le registre des observations. Je me tiens à l'indication de ce dernier.

[2] La note du professeur Kopp (voir ci-dessus) indique que les observations ont été faites par Al. Rochat, buraliste au Pont.

des degrés de l'échelle. Faute de renseignements plus précis, nous admettrons que l'échelle qui est restée en place jusqu'en avril 1859 était celle de 1847.

Nous établissons donc nos calculs sur les bases suivantes:

		Position du zéro.
L 1847.	Observations de janvier 1847 à avril 1859	ZJ 5.295 m.
L 1859.	» d'avril 1859 à juillet 1862	ZJ 5.445 »
L 1862.	» de juill. 1862 au 2 mars 1869	ZJ 5.235 »
L 1869.	» du 3 avril 1869 au 17 janv. 1887	ZJ 5.325 »
L 1887.	» du 18 janv. 1887 à nos jours	ZJ 0.0 »

L'incertitude est fort grande pour les anciennes observations. Faute de mieux nous les utiliserons quand même.

Amplitude des variations annuelles.

Quelle que soit l'incertitude sur la hauteur absolue du zéro des divers limnimètres qui se sont succédés au Pont, il est cependant un point que les observations nous donnent avec grande sûreté: c'est l'amplitude des variations annuelles du lac. De combien le lac varie-t-il entre les hautes et les basses eaux? C'est là une question très importante pour quelques-unes des études qui se basent sur les observations limnimétriques.

Etant donné le climat de la Vallée de Joux, la saison des hautes eaux et celle des basses eaux n'ont pas lieu chaque année à la même époque. C'est en général au printemps, à la fonte des neiges, que les eaux sont les plus hautes, en hiver qu'elles sont les plus basses. Mais il y a souvent des déplacements considérables dans la saison de ces événements, et il est parfois difficile de préciser à quel moment de l'année il faut attribuer le maximum ou le minimum annuels. Nous avons dépouillé de notre mieux les cahiers des observations et voici les chiffres et dates que nous avons trouvés. Quand les époques chevauchent entre deux années, nous soulignons par un chiffre gras la date qui se rapporte à l'année précédente, par un chiffre italique celle qui se rapporte à l'année suivante.

Nous indiquons la date et la cote du minimum, la date et la cote du maximum, la différence entre le minimum et le maximum qui suit, soit la variation annuelle.

Nous traduisons les valeurs inscrites en pouces vaudois de 30 mm., dans les observations originales de 1847 à 1887, en valeurs métriques ramenées à l'échelle de 1887 dont le zéro est

notre Z J ; pour cela, nous leur apportons les corrections développées ci-dessus.

Limnimètre.	Année.	Minimum. Date.	Minimum. Cote. Z J +	Maximum. Date.	Maximum. Cote. Z J +	Amplitude de la variation annuelle.
L 1847	1847	2 mars	6.825 m	16 mai	9.435 m	2.61 m
	1848	6 et 20 fév.	5.355	30 avril	9.075	3.72
	1849	**15 oct.**	5.335	17 juin	8.445	2.61
	1850	**30 sept.**	5.925	21 avril	8.205	2.28
	1851	16 mars	5.595	11 mai	8.505	2.91
	1852	11 janv.	6.195	19 déc.	8.535	2.34
	1853	3 avril	6.915	3 juillet	9.315	2.40
	1854	19 mars	5.295	23 juillet	7.395	2.10
	1855	**15 oct.**	5.535	3 juin	9.165	3.63
	1856	**23 déc.**	7.095	1 juin	9.795	2.70
L 1859	1859	**10 oct.** **7 nov.**	5.745	6-10 mai	7.995	2.40 [1]
	1860	**10 oct.**	5.445	19 mai	9.330	3.885
	1861	21 fév.	6.705	24 avril	7.935	1.23
	1862	**6 nov.**	6.015	3 févr.	7.650	1.635
L 1862	1863	**12 oct.**	4.875	2-3 oct.	7.575	2.70
	1864	30 janv.	5.745	16-18 juin	7.395	1.65
	1865	5 janv.	4.845	30 av.-2 mai	7.845	3.00
	1866	**20 oct.**	5.370	30-31 mai	8.715	3.345
	1867	**9 nov.**	7.200	2-3 mai	10.425	3.225
	1868	28 févr.	6.120	10-15 mai	8.415	2.295
	1869	**18-21 sept.**	6.150	9 janv.	8.310	2.16
L 1869	1870	8 oct.	4.920	28-30 nov.	8.175	3.255
	1871	22 févr.	6.675	1-5 mai	8.025	1.35
	1872	21 janv.	5.595	5-17 juin	8.235	2.64
	1873	**1 oct.**	6.765	11-14 mai	8.925	2.16
	1874	21 mars	5.775	17 août	7.305	1.53
	1875	**17 nov.**	5.715	21 nov.	8.925	3.21
	1876	12 févr.	6.945	27 av.-1 mai	10.020	3.075
	1877	**17 nov.**	7.005	1-7 juin	9,765	2.76
	1878	20 févr.	6.585	4 juin	9.645	3.06

[1] Pour cette différence nous avons tenu compte du changement d'équation du limnimètre survenu en avril 1859.

Limnimétrie.	Année.	Minimum. Date.	Minimum. Cote. Z J +	Maximum. Date.	Maximum. Cote. Z J +	Amplitude de la variation annuelle.
L 1869	1879	**23-25 oct.**	7.275	24-26 juillet	9.510	2.235
	1880	16 févr.	6.345	31 déc.	8.580	2.235
	1881	8 févr.	8.040	10-14 avril	8.985	0.945
	1882	26 févr.	6.075	*5 janv.*	10.995	4.920
	1883	29-31 mars	7.815	13-18 mai	8.415	0.60
	1884	Baisse continue, pas de maximum.				
	1885	**1 déc.**	5.355	10-11 déc.	8.490	3.135
	1886	**12 oct.**	6.045	25 déc.	8.175	2.130
L 1887	1887	4-6 mars	6.435	5 juin	8.385	1.950
	1888	**9-10 oct.**	6.60	5-11 mai	9.50	2.90
	1889	30 mars-1 av.	6.08	2 juillet	9.14	3.06
	1890	20 mars	6.97	31 mai	8.42	1.45
	1891	9 mars	6.01	14 juin	8.575	2.565
	1892	**7 oct.**	6.695	16 avril	9.56	2.865
	1893	**9 déc.**	6.01	27 mars	8.07	2.06
	1894	27 févr.	6.10	19 juin	8.08	1.98
	1895	21 mars	4.98	2 mai	8.41	3.43
	1896	**2 oct.**	5.98	1 nov.	9.03	3.05

Si nous cherchons d'après ces chiffres la hauteur absolue des minimums et maximums, en tenant compte de l'équation des limnimètres, nous trouvons que la moyenne des 47 années où il y a eu variation annuelle (1884 n'en a pas présenté), nous donne :

Moyenne des maximums . . . . . Z J + 8.698 m.
» » minimums . . . . . Z J + 6.161 »
» de la variation annuelle . . 2.537 »

L'amplitude maximale de la variation annuelle a été en 1882 par 4.92 m.

La valeur minimale, si l'on fait abstraction de 1884 où il n'y a pas eu de crue sensible, mais une décrue continue, a été celle de 1861 par 1.23 m.

Y a-t-il eu des changements notables dans la variation annuelle? Il semble qu'il y ait tendance très nette à la diminution progressive de cette variation. Voici en effet les moyennes par décades :

1847—1856	10 ans	2.730 m.
1859—1868	10 »	2.536 »
1869—1878	10 »	2.520 »
1879—1888	10 »	2.105 »
1889 - 1896	8 »	2,046 »

Nous présenterons quelques réflexions sur cette variation périodique annuelle.

La variation périodique est extrêmement irrégulière dans le lac de Joux; c'est à peine si nous pouvons parler d'une périodicité annuelle; l'époque des maximums et celle des minimums sont très mal déterminées.

C'est ainsi qu'en 1862 le minimum ayant eu lieu le 12 octobre, le maximum suivant a eu lieu au même mois, mais un an plus tard, le 2 octobre 1863.

C'est ainsi que nous avons deux minimums consécutifs le 20 septembre 1868 et le 8 octobre 1870, séparés par plus de deux ans.

C'est ainsi que dans l'année 1884 nous n'avons pas su trouver de maximum ni de minimum; il y a eu décrue continue du 18 mai 1883 au 4 novembre 1884, sans maximum qui vaille la peine d'être signalé [1].

Dans les 48 années d'observation, le minimum a eu lieu :

20 fois à la fin de l'année précédente;
26 » au commencement de l'année;
1 » à la fin de l'année actuelle (8 octobre 1870);
1 » sans minimum (1884).

Dans ces 48 années le maximum a eu lieu :

33 fois dans les six premiers mois de l'année actuelle;
13 » » derniers » »
1 » en janvier de l'année suivante (4 janvier 1883);
1 » sans maximum (1884).

Cette irrégularité d'allures tient à deux causes :

a. Au régime hydrologique. Les crues du lac sont occasionnées ou bien par la fonte des neiges ou bien par des pluies diluviennes; les plus fortes sont dues aux deux actions réunies.

[1] Si cette étude de la variation annuelle est difficile par le fait de l'irrégularité dans la périodicité, en revanche elle est bien assurée, et n'est point entachée d'erreurs provenant des incertitudes du repérage; les cotes des maximums et minimums de la même année sont toujours mesurées avec le même limnimètre.

Suivant que les unes ou les autres sont plus puissantes en automne ou au printemps, c'est à l'une de ces saisons qu'a lieu le maximum de l'année qui peut du reste être en avance ou en retard, en été ou en hiver. Les basses eaux sont dues ou à la sécheresse de l'été, ou à la congélation hivernale ; de là les deux types de minimums qui ont lieu ou en automne, ou à la fin de l'hiver.

b. Au régime artificiel de l'écoulement des eaux par les émissaires souterrains. Suivant que les usiniers, qui règlent à volonté les vannes de leurs entonnoirs, ont fait une plus ou moins grande consommation d'eau, suivant aussi que les entonnoirs ont été obstrués par des débris ou ont été débouchés, il en résulte des périodes de hautes ou de basses eaux.

Le maximum de variation annuelle a eu lieu en 1882 avec une amplitude de 4.92 m. C'est la crue désastreuse de décembre 1882 et de janvier 1883 qui a causé cette énorme oscillation du lac.

Amplitude des variations extrêmes.

Quelles sont les plus hautes, quelles sont les plus basses eaux connues ? Ici nous nous heurtons à la grande difficulté de l'incertitude du repérage des divers limnimètres qui se sont succédés au Pont. Avec les équations que nous avons admises, nous avons :

Pour les minimums :

L 1847	1854	ZJ + 5.295 m.
L 1859	1860	ZJ + 5.445 »
L 1862	1865	ZJ + 5.196 »
L 1869	1870	ZJ + 4.920 »
L 1887	1895	ZJ + 4.98 »

D'après cela, la cote du minimum le plus bas est celle du 28 au 30 novembre 1870 : ZJ + 4.92 m. D'autre part, la cote du minimum le plus élevé est le 8 juin 1881 : ZJ + 8.040.

Dans un très intéressant mémoire manuscrit de M. L. Gauthier sur « le lac de Joux », nous trouvons, à la page 6, la note suivante : « En 1755, les eaux baissèrent si fort que les deux lacs furent séparés l'un de l'autre et que l'on passait à pied sec sous le pont. » Donc les lacs sont descendus cette année-là au-dessous du plafond du canal entre deux lacs. Nous avions espéré trouver là une cote précise des eaux minimales du lac.

Mais une tentative faite en 1777 de barrer le lac de Joux à

l'orient du pont a dû amener une modification considérable à ce chenal; le barrage qui soutenait les eaux du lac supérieur céda et les eaux du lac de Joux se précipitèrent dans le lac Brenet avec une telle violence qu'elles se troublèrent assez pour que la source de l'Orbe en ait été louchie[1]. Il y eut certainement à cette occasion une érosion puissante du canal entre deux lacs, et son plafond a dû être considérablement abaissé. Depuis lors, il peut avoir été comblé en partie par des atterrissements et des vases. Il n'y a donc rien à tirer par ce procédé.

Nous indiquons pour mémoire, ici, la cote du seuil du canal qui sépare les deux lacs; elle est d'après les sondages de M. Hörnlimann à AA. 1003.3 m., ce qui représente ZJ + 2.8 m.

C'est probablement sur cette cote qu'est fondée la tradition disant que les plus basses eaux du lac seraient descendues à la cote 1003 m. Cette tradition ne nous paraît pas justifiée.

Pour les *maximums*, nous avons :

L 1847	1856	ZJ + 9.795 m.
L 1859	1860	ZJ + 9.330 »
L 1862	1867	ZJ + 10.425 »
L 1869	1883	ZJ + 10.995 »
L 1887	1892	ZJ + 9.56 »

Sur le dé du pont entre deux lacs est une marque du maximum des hautes eaux (probablement de 1883) à la cote 11.03 m. qui ne s'écarte que de 3.5 cm. de celle que nous donnait nos calculs. Ceux-ci y trouvent une bonne confirmation.

Le maximum le plus élevé est celui du 4 janvier 1883 par ZJ + 10.995 m.; le plus bas est celui du 21 mars 1874 par ZJ + 7.305 m.

Il est vrai qu'il nous manque les observations de l'année 1857 et du printemps de 1858. Or, l'hiver de 1857-58 a eu des eaux exceptionnellement basses. Il est possible que de ce fait un minimum extraordinaire nous ait échappé. Mais nous ne pouvons nous baser que sur les observations qui nous sont remises.

D'après ces chiffres, nous avons les variations extrêmes :

Maximum du 4 janvier 1883	ZJ 10.995 m.
Minimum du 29 novembre 1870 . . .	ZJ 4.920 »
Amplitude extrême des variations.	6.075 m.

L'amplitude moyenne des variations annuelles est donc 2.50 m.
L'amplitude des variations extrêmes 6.075 m.

[1] H.-B. de Saussure, *Voyages dans les Alpes*, I, 312.

Comparons ces chiffres avec ceux d'autres lacs de notre pays, d'après les moyennes des 20 premières années des observations hydrométriques suisses (A. Benteli, 1888).

Lacs.	Amplitude moyenne de la variation annuelle.	Amplitude des variations extrêmes.
Bodan	2.04 m.	3.16 m.
Brienz	1.58 »	2.17 »
Thoune	1.21 »	2.01 »
Quatre-Cantons	1.06 »	1.77 »
Zoug	0.62 »	1.14 »
Walenstadt	2.62 »	3.75 »
Zurich	1.27 »	2.18 »
Léman	1.42 »	2.02 »
Verbano	2.91 »	7.81 »
Ceresio	1.41 »	2.60 »
Lac de Joux	*2.50* »	*6.07* »

L'amplitude moyenne des variations annuelles du lac de Joux n'est dépassée dans les exemples que par le lac de Walenstadt et le lac Majeur (Verbano); celle des variations extrêmes que par le lac Majeur.

Quelle est la cause de cette grande variabilité du niveau du lac de Joux? Dans un lac quelconque une telle variabilité peut tenir à plusieurs causes. Discutons ces causes en étudiant les conditions spéciales des lacs de Joux.

a. La variabilité d'un lac est d'autant plus grande que la superficie du lac est plus petite par rapport au bassin d'alimentation. Dans le lac de Joux, dont la superficie est de 9.4 km² et dont le bassin d'alimentation est de 211 km², le rapport entre ces deux chiffres, 0.044, est, il est vrai, plutôt plus faible que la normale (la moyenne pour les lacs suisses cités plus haut est 0.055). Mais une notable partie du bassin d'alimentation géographique n'envoie pas d'eau au lac de Joux, tout le revers du Risoux écoulant ses eaux dans l'Orbe souterraine[1]. De ce fait, le rapport réel entre les deux facteurs doit

[1] On sait qu'un grand nombre d'observations concordantes ont prouvé qu'il existe à une grande profondeur au-dessous du thalweg apparent de la Vallée de Joux un cours d'eau souterrain, l'*Orbe souterraine,* qui vient à l'air, en source vauclusienne à la *source de l'Orbe* près Vallorbe. L'Orbe souterraine reçoit d'une part l'eau qui s'écoule par les entonnoirs des lacs de Joux, Brenet et Ter, d'autre part les eaux du drainage des versants montagneux de la vallée, en particulier toutes celles du flanc sud-oriental du Risoux.

être notablement augmenté. Donc, nous n'avons pas là l'explication des crues énormes du lac de Joux.

b. La variabilité d'un lac est d'autant plus forte que le bassin d'alimentation est plus déboisé et retient moins longtemps les eaux de drainage. La vallée de Joux est dans un bon état de végétation forestière, et l'écoulement des eaux de pluie n'y a rien d'extraordinairement hâtif.

c. La variabilité d'un lac est d'autant plus forte que le climat de la région est plus variable ; qu'il y a de grandes chutes d'eau, soudaines et violentes, et de longues périodes de sécheresse. C'est un peu le cas de la vallée de Joux qui est en somme très pluvieuse [1] et dont l'altitude et la situation géographique favorisent la fonte rapide des neiges. La grande crue de l'hiver 1882-83 a été due à une pluie chaude faisant subitement fondre une épaisse couche de neige.

d. La variabilité d'un lac est d'autant plus forte que l'émissaire est moins libre ou est obstrué par des obstacles. C'est le cas des lacs de Joux. Tandis que, pour un lac à émissaire ouvert à l'air libre, le débit de l'émissaire croît en fonction directe de la hauteur des eaux du lac, les entonnoirs souterrains des lacs de Joux ont un régime tout différent. Le débit des entonnoirs qui sont accaparés par l'industrie (Bon-Port jusqu'en 1883, Rocheray jusqu'à nos jours) est livré à la discrétion des usiniers ou confié aux soins de la Commission des entonnoirs, Bon-Port depuis 1883 ; le débit des autres entonnoirs croît bien à mesure que les eaux du lac s'élèvent, mais par suite des frottements de l'eau dans des canaux compliqués et insuffisants, par suite aussi des obstacles, inconnus mais indiscutables, des émissaires souterrains, cette augmentation du débit n'est point du tout fonction simple de la hauteur du lac. Enfin l'intervention de l'Orbe souterraine arrêtant pendant ses crues le débit des entonnoirs, faisant même refluer les eaux par l'entonnoir du Rocheray (cela est certain) et par l'entonnoir Neuf (cela est possible), l'écoulement des eaux est singulièrement gêné.

Il est évident cependant que, à mesure que les eaux des lacs s'élèvent, un plus grand nombre d'entonnoirs, de fentes et de fissures des rochers entrent en débit actif; que par conséquent la section utile d'écoulement des émissaires augmente avec la

[1] Les chutes d'eau annuelles de la Vallée de Joux s'élèvent de 1.37 m. au Sentier à 2.14 m. au Chalet Capt, ce qui est énorme pour nos climats (Bührer, *Climat du canton de Vaud*, Bull. Soc. vaud. sc. nat., XXXII, 63 1896).

hauteur du lac. Mais avec un écoulement souterrain compliqué comme celui des émissaires du lac, ce n'est pas seulement la section des canaux à la sortie du lac qui est en jeu pour régler la quantité d'eau débitée, c'est aussi le calibre des canaux d'écoulement jusqu'à leur arrivée à l'air à la source de l'Orbe. Qu'il y ait quelque part un étranglement, comme cela semble probable, dans les conduits communs à l'Orbe souterraine et aux entonnoirs des lacs, les variations de hauteur du lac auront une très petite action sur le débit des émissaires, et une partie notable de la variabilité du régime du lac trouvera dans le système d'écoulement souterrain une explication parfaitement plausible.

II. Les crues des lacs de Joux.

Nous avons relevé, dans l'histoire limnimétrique des lacs de Joux, entre autres, les crues suivantes :

Du 31 oct. au 3 nov.	1859	crue de 1.29 m.	en 4 jours, soit par jour	32 cm.
23 au 26 septemb.	1863	1.08	3	36
11 au 21 avril	1865	1.80	10	18
21 au 24 octobre	1865	0.55	3	18
14 au 16 décembre	1866	0,39	2	19
22 au 24 octobre	1870	0.81	2	40
22 oct. au 2 nov.	1870	1.86	11	17
19 au 21 novembre	1874	0.72	2	36
9 au 12 novembre	1875	0.66	3	22
12 au 15 février	1877	1.02	3	34
31 déc. 1877 au 3 janv.	1878	0.81	3	27
25 déc. 1882 au 4 janv.	1883	1.47	10	15
20 au 22 février	1885	0.45	2	22
24 au 27 avril	1888	0.50	3	17
2 au 3 octobre	1888	0.29	1	29
9 au 10 octobre	1889	0.35	1	35
22 au 24 janvier	1890	0.54	2	27
14 au 15 novembre	1891	0.27	1	27
25 au 29 mars	1895	1.08	4	27
12 au 15 avril	1895	0.65	3	22
8 au 11 mars	1896	1.35	3	45
25 au 27 septemb.	1896	0.83	2	41

La crue la plus considérable, celle qui a amené le maximum le plus élevé des eaux du lac est celle de décembre 1882. Causée

par une fonte subite des neiges avec pluie[1], elle mérite d'être décrite en détails. Voici les lectures limnimétriques successives :

		Crue.
25 décembre 1882	Z J + 9.525	
26 décembre 1882	» + 9.765	+ 14 cm.
27 »	» + 9.885	+ 12 »
28 »	» + 10.425	+ 54 »
29 »	» + 10.575	+ 15 »
30 »	» + 10.665	+ 9 »
31 »	» + 10.725	+ 6 »
1er janvier 1883	» + 10.785	+ 6 »
2 »	» + 10.845	+ 6 »
3 »	» + 10.905	+ 6 »
4 »	» + 10.995	+ 9 »
5 »	» + 10.985	— 1 »

Si les lectures des 27 et 28 décembre sont exactes, s'il y a eu ce jour-là une crue de 54 cm. la superficie des lacs de Joux étant de 9.4 km², une telle crue représente un excès de 59 m³ sec. dans le débit des affluents sur celui des émissaires.

III. L'entonnoir de Bon-Port.

Dans le beau *Mémorial des Travaux publics du Canton de Vaud*, publié en 1896 par M. l'ingénieur en chef L. Gonin, nous trouvons aux pages 204 et suivantes un chapitre consacré aux Eaux de Joux, rédigé par M. l'ingénieur E. de Vallière. Il donne un résumé historique sur l'écoulement des Lacs par les entonnoirs, une description géologique et hydrologique de la vallée, et un rapport sur les travaux faits à l'entonnoir de Bon-Port. Nous y renvoyons tous ceux qui ont à s'occuper des eaux de la Vallée de Joux ; nous nous bornerons à en extraire les faits qui, de près ou de loin, touchent à la limnimétrie des lacs de Joux dans les cinquante dernières années.

Et d'abord quelques valeurs sur la quantité des eaux.

En temps sec le débit de la source de l'Orbe est évalué à 3.43 m³ sec.

De cette masse d'eau, environ 2 m³ sec. proviennent des en-

[1] Le 23 décembre il tomba un mètre de neige à la Vallée ; le 24 et le 25 une pluie torrentielle fit fondre la neige fraîche, tout en versant des torrents d'eau dans les affluents du lac.

tonnoirs des lacs de Joux et Brenet. Le solde 1.43 m³ sec. doit être attribué à l'Orbe souterraine.

Le débit des affluents visibles du lac, Orbe du Sentier, Lyonne, etc., est en temps sec évalué à 0.43 m³ sec.

Le débit maximum de l'Orbe de Vallorbe est d'environ 7.5 m³ sec.

L'émissaire principal des lacs de Joux est l'entonnoir de Bon-Port, situé sur la côte N.-W. du lac Brenet. Il consiste en un système de fissures et de canaux naturels creusés dans une couche verticale de calcaire Portlandien, laquelle forme en ce point la rive même du lac. Une digue artificielle, en muraille de gros blocs, de 20 mètres de longueur, 5.6 m. d'épaisseur et 7 m. de hauteur[1], sépare du lac la cavité de l'entonnoir approfondi successivement sous la forme d'un vaste cône à parois irrégulières qui descend bien au-dessous du niveau des eaux. Les dimensions de l'entonnoir étaient : longueur parallèle à la rive du lac 20 mètres ; largeur perpendiculaire à cette rive 27 m. Du côté N.-E. la digue séparative était reliée à la paroi rocheuse par un mur en mauvais état ; du côté S.-W. un talus, formé de rochers, de blocs éboulés et de débris, descendait jusqu'au fond de l'entonnoir.

Au fond de l'entonnoir les fissures du rocher engloutissaient les eaux qui, sortant du lac par les pertuis de la digue séparative, faisaient une cascade, une chute motrice qui mettait en jeu les roues des moulins. Les bâtiments des moulins, en plusieurs étages, étaient construits dans l'entonnoir même, au-dessous de la surface du lac.

Les pertuis fermés par des vannes ou bouchons étaient au nombre de 5 : trois, circulaires, de 30 cm. de diamètre à la cote Z J + 3.3 m. ; un quatrième, carré, de 45 cm. de côté ; un cinquième, vanne de décharge, de 35 sur 40 cm. de côté, à la cote Z J + 5.5 m.

Depuis 1777 la commune de l'Abbaye était propriétaire des moulins de Bon-Port. En 1852 des réparations importantes étaient nécessaires ; la commune préféra vendre l'usine à M. Armand Rochat, au Pont. L'inondation de décembre 1882, dont nous avons décrit les phases limnimétriques, amena de graves bouleversements dans l'émissaire principal du lac. Le 1ᵉʳ janvier 1883, au matin, les moulins de Bon-Port furent submergés.

[1] Le sommet de la digue est à la cote Z J + 10 m. = AA 1010 m.

Soulevés par les eaux, ces bâtiments de bois s'écroulèrent flottèrent sur le bassin limité de l'entonnoir, et quand lese aux, s'abaissèrent, leurs débris s'entassèrent en un fouillis inextricable de bois amoncelés au fond du creux.

La Commission des entonnoirs, instituée en 1822 par l'Etat de Vaud, fit faire quelques travaux en 1884 pour le déblaiement de l'entonnoir; mais, à bout de ressources, elle dut interrompre cette opération. C'est alors qu'un syndicat de propriétaires de la Vallée fit l'acquisition de Bon-Port en vue d'une utilisation industrielle des eaux de l'entonnoir.

Pour sauvegarder les intérêts généraux de la Vallée, pour mettre celle-ci à l'abri d'une inondation toujours menaçante par suite de l'obstruction partielle de l'entonnoir, l'Etat de Vaud se décida à faire l'expropriation de Bon-Port et à le faire déblayer. Le décret du Grand Conseil du 13 février 1890 a réglé ces mesures et a établi une Commission exécutive des eaux de Joux.

Celle-ci a chargé M. l'ingénieur E. de Vallière, à Lausanne de la direction technique de l'entreprise, M. Ernest Rochat, au Pont, syndic de l'Abbaye et président de la Commission des entonnoirs, de la surveillance des travaux, et M. Clot-Rochat, entrepreneur à Vallorbe, de leur exécution.

Les travaux de déblaiement ont duré du 28 septembre 1891 au 4 janvier 1893. L'entonnoir a été débarrassé des bois et des débris accumulés avant et depuis la catastrophe de janvier 1883; de nouvelles fissures ont été dégagées, des galeries creusées dans la paroi rocheuse ont conduit dans des galeries naturelles ouvertes dans les couches verticales du Portlandien, lesquelles sont fissurées et perforées comme une éponge. L'entonnoir fut curé jusqu'à la profondeur de 26 mètres au-dessous du niveau moyen des eaux du lac soit à la cote AA 982 m. Une galerie naturelle dans l'angle N.-E. de l'entonnoir descend par des puits irréguliers jusqu'à une dizaine de mètres plus bas; son fond est obstrué par un cailloutis grossier.

Les parois du talus de l'entonnoir ont été revêtues par une muraille de bois et de fascines. Le mauvais mur qui joignait au N.-E. la digue séparative du rocher a été reconstruit en 1895, Pour faciliter cette reconstruction on a fait baisser les eaux du lac Brenet, séparé à cet effet du lac de Joux par un barrage de retenue sous le pont entre deux lacs. Les eaux du lac Brenet sont descendues à la cote Z J + 4 m. et les fondations du nouveau mur ont été posées sur le roc vif.

Le résultat des travaux de déblaiement de l'entonnoir de Bon-Port peut être apprécié par une comparaison des jaugeages faits le 16/20 novembre 1884 par M. Guiguer de Prangins, et les 17/18 septembre 1894 par M. Michaud. M. de Vallière estime que l'augmentation de débit de l'entonnoir est de 0.65 à 0.70 m^3 sec.

IV. Dates de la congélation des lacs.

Grâce à l'obligeance de MM. Samuel Aubert, Louis Gauthier, Benjamin Lecoultre et Ernest Rochat, j'ai pu rassembler les dates de la congélation totale et du dégel des lacs de Joux pour un certain nombre d'années de la seconde moitié du XIXe siècle. Voici ces chiffres malheureusement incomplets. Si quelqu'un pouvait fournir quelques-unes des dates qui manquent à cette série, il nous rendrait grand service.

Hiver.	Congélation complète.	Débâcle.	Durée.
1864	—	13 avril 1864	—
1865	—	29 avril 1865	—
1866	—	28 février 1866	—
1876	—	8 mars 1876	—
1877	12 mars 1877	1er avril 1877	20 jours.
1878	—	16 avril 1878	—
1879	—	4 avril 1879	—
1880	—	2 avril 1880	—
1881	—	26 mars 1881	—
1882	3 janvier 1882	23 mars 1882	79 jours.
. . . . .			
1884	23 décembre 1883 27 février 1884	26 décembre 1883 28 février 1884	6 »
1885	29 décembre 1884	9 mars 1885	71 »
1886	25/26 décembre 1885	29 mars 1886	94 »
1887	23/24 décembre 1886	24 avril 1887	122 »
1888	17 décembre 1887	5 mai 1888	141 »
1889	5/6 janvier 1889	2/3 mai 1889	117 »
1890	16 décembre 1889	14 avril 1890	121 »
1891	8/9 décembre 1890	2/3 mai 1891	146 »
. . . . .			
1893	29/30 décembre 1892	8/9 avril 1893	101 »
1894	18 décembre 1893 1 janvier 1894	19/20 déc. 1893 10 avril 1894	102 »

Hiver.	Congélation complète.	Débâcle.	Durée.
1895	26/27 décembre 1895	18 avril 1895	113 »
1896	12 janvier 1896	26 mars 1896	74 »
1897	4/5 janvier 1897	24/25 mars 1897	79 »

Pour autant que l'on peut tirer des moyennes de notes aussi divergentes, on peut admettre que la date de la congélation est vers le 4 janvier et la date de la débâcle vers le 5 avril.

La durée moyenne des 15 années dont nous avons les dates complètes est de 92 jours.

Comme terme de comparaison je dirai que pour le lac de Sils dans l'Engadine, à l'altitude de 1796 m., la moyenne de 26 années d'observation donne [1] :

Date de la congélation	18 décembre.
» débâcle	23 mai.
Durée de la prise par la glace	156 jours.

V. Fentes et fendues de la glace des lacs.

Dans ma monographie du Léman [2] j'ai résumé comme suit les phases de la congélation d'un lac.

1° Phase de début, prise du lac.

2° Phase d'état, congélation établie.

3° Phase de dégel.

Dans la phase d'état, j'ai signalé la formation des crevasses dans la glace du lac, en indiquant l'intérêt que présenterait leur étude. Quelques observations faites sur la glace du lac de Joux, les 10 et 17 janvier 1897, nous permettent de faire un peu avancer cette question.

Le lac est couvert d'une lame glacée (congélation lamellaire) par une prise rapide en temps calme. La lame, très mince d'abord, s'épaissit par apposition successive de couches à sa face inférieure, pendant que la température de l'air restant froide, la glace perd de la chaleur par sa face supérieure. Bientôt l'épaisseur de la glace est assez grande pour que les couches supérieures puissent s'abaisser notablement au-dessous de zéro, tandis que les couches inférieures, en contact avec l'eau, restent

[1] F.-A. Forel. La congélation des lacs suisses et savoyards dans l'hiver de 1891. Archives de Genève XXVII, 84. 1893.

[2] F.-A. Forel, *Le Léman*, monographie limnologique, T. II, p. 380 et suivantes. Lausanne 1895.

à zéro ou à peu près. Je donnerai un exemple de cette stratification therm que dans l'épaisseur de la glace d'un lac; je l'ai mesurée au lac de Zurich le 26 janvier 1880 :

Température de l'air	1.3 m.	au-dessus	de la surf. de la glace	— 10°5.
»	0.01	»	»	— 8°0.
Temp. de la glace	0.01	au dessous	»	— 3°8.
»	0.05	»	»	— 2°6.
»	0.10	»	»	— 0°8.
Temp. de l'eau du lac	0.13	»	»	+ 0°2.

Dans ces conditions la glace du lac subit des variations journalières de température entre la phase diurne relativement plus chaude et la phase nocturne relativement plus froide. Il en résulte des contractions et des dilatations alternatives de la lame glacée.

La dilatation linéaire de la glace est de 0.000 052, soit de 52 millimètres par kilomètre pour un degré d'élévation de température.

La contraction due à l'abaissement de température amène des ruptures dans la glace, la formation de fissures ou de fentes qui se produisent avec bruits, craquements et détonations; les fentes se prolongent en lignes plus ou moins droites, avec de légères courbes ou zigzags sur des longueurs de centaines de mètres ou de kilomètres. Ces fentes qui s'entrecroisent dans diverses directions divisent la glace en vastes radeaux indépendants les uns des autres.

Les lèvres des fentes sont verticales [1]. Quand le froid nocturne est à son maximum elles sont séparées l'une de l'autre par un espace béant de quelques millimètres ou de quelques centimètres dans lequel l'eau du lac s'élève. Cette eau se congèle et forme entre les lèvres un coussinet de glace transparente de nouvelle formation. Lorsque la glace du lac est bulleuse, comme c'était le cas en janvier 1897 par suite de l'incorporation à la lame glacée d'une mince couche de neige à moitié fondue par un retour de chaud, la différence d'aspect est très nette entre la lame générale opaque et le coussinet de glace entre les lèvres de la fente, parfaitement translucide.

[1] Ou plutôt à peu près verticales ; la contraction étant plus énergique dans les couches supérieures de la glace que dans les couches inférieures la fente est légèrement en biseau ouvert par en haut.

Au grand froid de la nuit succède une température plus douce dans le milieu de la journée; la glace se réchauffe et se rapproche de 0°. Elle se dilate alors et les radeaux de glace reprennent leurs dimensions primitives. Mais ils ne peuvent rapprocher les lèvres des fentes qui les séparent, car le coussinet de glace de nouvelle formation s'y est établi et la dilatation de chaque radeau doit refouler le radeau voisin. Ce refoulement se propage de radeau à radeau, en s'augmentant à chacun d'eux de la dilatation propre du radeau lui-même. Il se produit ainsi une poussée latérale, de puissance irrésistible, de valeur qui peut devenir assez importante. Si un lac est divisé dans sa longueur en cent radeaux, si pendant la nuit les fentes qui les séparent sont devenues béantes d'un centimètre seulement et si cette fente est remplie par un coussinet de glace nouvelle, assez solide pour être considérée comme incompressible, la dilatation de la journée suivante représentera un allongement total d'un mètre.

Cette poussée latérale se traduit par deux manifestations.

1° Sur les bords du lac la glace refoulée se soulève, se plie, se gondole; en certaines places, sur une zone de cinq à dix mètres de largeur, elle est toute bouleversée, entassée sur la grève, divisée en glaçons les uns relevés, les autres enfoncés sous l'eau; en maint endroit il devient impossible de pénétrer à pied sec sur le radeau général parfaitement solide du large. Ces effets de refoulement varient beaucoup d'un point à l'autre de la rive, mais ils y sont presque partout reconnaissables.

2° En plein lac, au point de rencontre de deux poussées latérales de sens inverse il se produit ce que l'on appelle des *fendues* (les *varices* du lac St-Point). Suivant une ligne plus ou moins flexueuse qui traverse d'une côte à l'autre un lac de forme allongée comme le lac de Joux, on voit les lèvres d'une fente se soulever l'une sur l'autre, l'une contre l'autre, se relever, se déjeter, se renverser, chevaucher parfois l'une sur l'autre; sur une bande de bien des mètres de largeur la glace est rompue en glaçons tout bouleversés, et le passage des patineurs n'est possible que sur des ponts ou passerelles de planches. Ces fendues forment des murailles plus ou moins élevées. En 1897, au lac de Joux, elles n'avaient que quelques décimètres de hauteur; en 1880 j'en ai vu, au lac de Zurich, d'un mètre au moins en certaines places.

Les fendues se produisent chaque fois que la glace du lac reste exposée pendant quelques semaines à l'air libre. Sitôt

qu'une couverture de neige protège la glace contre les variations journalières de la température, le phénomène cesse de se développer. Les fendues apparaissent chaque année à peu près à la même place, à quelques centaines de mètres près; tellement que sur certains lacs elles reçoivent des noms locaux [1].

Leur nombre est à peu près toujours le même. Au lac de Joux il y en a 3 ou 4 suivant les années. En 1854 le Dr Lecoultre en figurait trois, transversales sur la longueur du lac, l'une près de l'Abbaye, l'autre chez les Grosjean, l'autre près du Rocheray [2]. En 1897 il y en avait quatre.

Ces phénomènes, empilement de la glace sur la rive et formation des fendues en plein lac, sont une démonstration intéressante de la puissance des refoulements latéraux dont nous avons cherché à donner l'explication.

[1] Lac de Baldegg. X. Arnet. Das Gefrieren der Seen der Zentral Schweiz. Luzern 1897, passim.

[2] Bull. Soc. Vaud. Sc. Nat. IV, 224. Lausanne 1856.