

« Nous nous bornerons à rappeler le résultat d'après lequel cette puissance est obtenue lorsque la perte de charge atteint le tiers de la chute brute, la seule hypothèse qu'il comporte étant celle de la proportionnalité des pertes de charge au carré de la vitesse de l'eau dans la conduite.

« Eu égard à ce résultat, si on veut tenir compte de ce qu'aux grandes vitesses les pertes singulières sont susceptibles de croître d'une façon anormale, nous pourrions conclure qu'il ne faut pas craindre, en observant les précautions de réglage indiquées par M. le Comte de Sparre, d'utiliser le débit possible jusqu'à la perte du *quart* de la chute brute. »

Les précautions de réglage indiquées par M. de Sparre consistent à avoir une fermeture du distributeur d'allure non linéaire, mais ralentissant de plus en plus à mesure qu'on s'approche de la fin de la manœuvre.

Remarquons d'ailleurs que le fait d'arriver à une perte de charge égale à 25 % de la chute est exceptionnel et qu'en pratique, on se borne encore aux chiffres que j'ai précédemment indiqués.

J'en ai ainsi terminé avec la question des conduites, sauf un point de détail. Il convient de protéger les conduites contre le gel ; dans certains cas, on y arrive en les recouvrant de terre, mais la surveillance et l'entretien sont moins faciles. Si l'on préfère les laisser à découvert, il faudra avoir soin, quand elles sont pleines, d'éviter les arrêts d'eau en temps froid et d'y maintenir toujours un léger écoulement. En particulier, il faudra toujours laisser un peu ouverts les robinets de vidange ou autres, aux abords desquels il y aurait, sans cette précaution, une zone d'eau morte où la glace pourrait se former.

D. EYDOUX,

Professeur suppléant à l'École nationale  
des Ponts et Chaussées (1).

## L'AMÉNAGEMENT DU RHONE

Dans notre dernier numéro nous avons annoncé la publication d'une note de M. de la Brosse, relative à l'aménagement du lac Léman. Nous donnons ci-après ce travail d'un intérêt évident :

### Note sur l'Utilité d'une Augmentation d'Amplitude dans les Variations de Niveau du Lac Léman

Dans mes précédents rapports sur l'aménagement du Rhône (Comparaison des puissances réalisables par les projets de Bellégarde-Malpertuis et de Génissiat, Importance et Valeur économique de l'énergie du Rhône), j'ai eu plusieurs fois l'occasion de signaler, sans m'y arrêter, l'intérêt que pourrait avoir un relèvement de niveau du lac Léman ou, plutôt, un accroissement de sa capacité comme réservoir régulateur du débit du Rhône par une augmentation d'amplitude de ses variations réglementaires.

Celles-ci sont restées longtemps assez arbitraires, elles n'ont été bien définies que par une convention intervenue le 17 décembre 1884 après de longues et laborieuses négociations entre les états de Genève, Vaud et Valais, sans participation de la France. Aux termes de l'article 4 de cette

(1) Dans notre dernier numéro, une omission nous avait fait écrire D. Eydoux, professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées. M. Eydoux nous prie de faire la rectification suivante : Professeur suppléant à l'École nationale des Ponts et Chaussées

convention, les barrages de Genève doivent être manœuvrés de façon à maintenir le niveau du lac entre les cotes 1,30 et 1,90 en contre-bas du repère du Niton (1), l'amplitude des variations de niveau est ainsi limitée à 0 m. 60, le niveau moyen du lac placé à 1 m. 60 en contre-bas du repère P. N., c'est-à-dire à l'altitude 372 m. 02, les écarts de part et d'autre de cette moyenne ne devant pas dépasser 0 m. 30.

La superficie du lac Léman est un peu supérieure à 580 kilomètres carrés environ (582 km<sup>2</sup>,4) en sorte que la tranche de 0 m. 60 qui peut jouer comme réserve pour accroître ou modérer le débit du fleuve représente 582.400.000 m<sup>2</sup> × 0 m. 60 = 349.440.000 mètres cubes, soit en chiffre rond 350 millions de mètres cubes, grâce à quoi et avec des manœuvres convenables en temps opportun on arrive assez bien à maintenir dans le Rhône pendant la saison des basses eaux (de décembre à mars), un débit de 120 mc./s (2).

Pendant la guerre, les besoins de force hydraulique s'étant accrus partout même chez les neutres, à cause de la pénurie générale du charbon, le Conseil Fédéral consentit à laisser relever exceptionnellement de 0 m. 15 le niveau maximum du lac dans l'hiver 1917-1918 et abaisser de 0 m. 20 son niveau minimum du 15 mars au 15 avril 1918. C'était une innovation importante que les riverains des cantons de Vaud et du Valais ont pu voir avec quelque appréhension, mais qui, en somme, ne paraît pas avoir mal réussi et qui a démontré *par le fait* qu'il n'était pas impossible de revenir sur la Convention de 1884 sans causer aux tiers les dommages intolérables qu'ils avaient pu craindre au début.

Mais précisément parce que l'expérience est faite, on doit se demander si elle ne pourrait pas sans inconvénient se renouveler chaque hiver de façon à relever un peu l'étiage du Rhône, ou même être poussée plus loin et porter sur des écarts de niveau encore plus étendus. C'est une question qui ne saurait être tranchée qu'après une instruction approfondie, mais qu'il est permis de poser et dont la solution ne semble pas devoir être laissée à la Suisse seule comme en 1884, mais réglée d'un commun accord par les deux pays, puisque la majeure partie du littoral sud du lac Léman est française. Mais alors même que ce motif décisif ferait défaut, la France ne devrait pas pour cela se désintéresser d'une réglementation qui influe directement sur le régime d'un fleuve qui coule chez elle sur plus de 500 kilomètres.

Il n'est pas indifférent pour notre pays, en effet, que les basses eaux du Rhône descendant à 100 mc./s, ou qu'on les maintienne à 150 mc./s. Dans le premier cas, nos usines perdent une puissance d'étiage très notable, elles en gagnent beaucoup dans le second cas, et la navigation en est également influencée. Je n'ai pas à m'occuper de ce dernier point de vue, mais, sans sortir du domaine de la force hydraulique, je vais montrer l'intérêt que nous pouvons avoir à une meilleure réglementation des niveaux du lac Léman.

Le régime actuel permet, comme je l'ai dit, de maintenir le débit d'étiage du Rhône à 120 mc. par seconde (100 mc. les dimanches) après la jonction de l'Arve. Comme il ne reçoit aucun affluent notable jusqu'à la frontière française,

(1) La pierre du « Niton » est un gros bloc erratique qui émerge du lac dans le port de Genève. Ainsi nommée, dit-on, d'une ancienne consécration à Neptune, dieu de la mer, ce bloc célèbre porte une plaque métallique qui a servi de base à tous les nivellements de la Confédération. C'est le repère du Niton désigné par abréviation P. N. dans les documents techniques fédéraux. Son altitude, longtemps discutée, serait de 373 m. 62 au-dessus du zéro du nivellement général fondamental de la France.

(2) On réduit ce débit à 100 mètres cubes le dimanche de façon à reconstituer partiellement la réserve ce jour-là où les besoins de force motrice sont moins grands que pendant la semaine.

c'est dans ces conditions qu'il pénètre sur notre territoire. Toutefois, ces chiffres n'ont rien d'absolu : en 1905 par exemple, le débit est resté inférieur à 120 mc. pendant 37 jours, certaines autres années pendant 15 ou 20 jours ; l'effet régulateur actuel du lac Léman ne garantit donc pas absolument le minimum de 120 mc, même en dehors des dimanches, ce qui montre qu'un accroissement du réservoir serait désirable. On s'en convaincra plus encore, si, au lieu de s'en tenir au débit d'extrême étiage, on examine ce qui se passe pendant la moyenne des hivers, période des basses eaux. Un relevé minutieux pratiqué sur les dix premières années du siècle montre que le débit du fleuve reste au-dessous de 60 mc. pendant 2 mois 1/2 en moyenne (100 jours en 1906) et au-dessous de 240 mc. la moitié de l'année.

Les usines hydrauliques que l'on se propose d'aménager entre la frontière suisse et Lyon, sont prévues pour utiliser 350 mètres cubes et quelques-unes même jusqu'à 500 mètres cubes (Génissiat). Elles ne fonctionneront donc que peu de temps à plein débit et toute combinaison qui augmenterait les basses eaux en améliorerait aussitôt le rendement. C'est ce qui arrivera pour tout accroissement de la réserve du Lac. Les 350 millions de mètres cubes qu'elle représente avec l'amplitude de 0 m. 60 fixée par la convention de 1884, s'ils s'écoulaient complètement et d'une façon continue pendant trente jours, donneraient 135 mètres cubes par seconde, ou 202 mètres cubes pendant vingt jours. Avec l'amplitude de 0 m. 95 autorisée exceptionnellement pour le dernier hiver, la réserve atteignant 555 millions de mètres cubes, a permis de fournir ces mêmes débits respectivement 47 et 32 jours au lieu de 30 et 20 jours, soit un gain d'environ 50 pour 100 sur la durée, qui a dû être apprécié par les usines de Genève et de Chèvres. Mais ce n'est là qu'un aperçu sommaire de l'intérêt que présente cette augmentation de la réserve, il est plus grand pour notre pays que pour la Suisse, tout au moins au point de vue des forces hydrauliques (1). C'est ce qui ressort du tableau suivant où je résume les principales données des usines existantes ou à aménager dans les deux pays sans descendre toutefois au delà de Lyon.

Il ressort de ce tableau (où la chute internationale de Pougny-Chancy est répartie pour 2/3 à la Suisse et 1/3 à la France) que l'ensemble des chutes nettes doit atteindre environ 29 mètres en Suisse et 136 mètres en France, c'est-à-dire quatre ou cinq fois plus chez nous que chez nos voisins et que nous avons dès lors quatre ou cinq fois plus de puissance qu'eux à gagner à toute augmentation donnée du débit d'étiage du Rhône à sa sortie du lac.

En voici d'ailleurs quelques chiffres plus explicites : On calcule très simplement le potentiel en Kw-h d'un réservoir contenant un volume V mètre cube à une altitude H mètres par la formule :  $E = \frac{V \cdot H}{1000}$  qui tient compte d'un rendement global de 73 pour 100 pour tous les appareils générateurs (2) et transformateurs de l'énergie. Le volume

(1) Ce serait l'inverse au point de vue de la navigation s'il était reconnu que la Suisse a plus que la France besoin d'une voie fluviale pour accéder à la Méditerranée, mais je n'ai pas à envisager ce côté de l'affaire qui échappe à ma compétence et je me borne à ce qui touche la force hydraulique.

(2) En effet, un kilowatt-heure étant égal (à notre latitude) à environ 367 000 kilogrammètres, l'énergie développée par la chute de V m<sup>3</sup> (= V x 1000 litres) sur H mètres de hauteur est en kilowatt-heure de  $\frac{1000 \cdot V \cdot H}{367}$ . Mais comme les turbines, alternateurs et transformateurs ont des rendements moyens respectifs de 79, 95 et 98 pour 100, c'est-à-dire ensemble un rendement total de  $0,79 \times 0,95 \times 0,98 = 0,73$ , on recueillera à la sortie de la station  $\frac{V \cdot H}{367} \times 0,73 = \frac{V \cdot H}{500} = \frac{2 \cdot V \cdot H}{1000}$  kilowatts-heur

ALTITUDES en basses eaux	LOCALITES (celles où existent déjà des usines en service sont soulignées)	HAUTEURS DE CHUTES		
		BRUTES	NETTES UTILISABLES	
			En basses eaux	En eaux moyennes
371,72	Sortie du lac Léman à Genève			
371,36	La Couleuvre nière . . . . .	27,61	3m41	3m40
367,75			Jonction de l'Arve	
367,36	Chèvres . . . . .	27,61	8,25	8,00
359,11				
357,56	La Plaine . . . . .	27,61	11,92	11,60
345,64				
344,11	Frontière Franco-Suisse R. D.			6m
345,35	Pougny-Chancy . . . . .	12,70	8,95	9
336,40				
331,41	Frontière Franco-Suisse R. G.			3m
332,00	Génissiat . . . . .	165,40	69,40	68
262,60				
	Billoux . . . . .		7,15	6
	Maty . . . . .		18,60	15
	Brens . . . . .		8,75	7
	Peyrieux . . . . .		8,75	7
	Groslée . . . . .		11,80	8
178,90	Villette-d'Anthon . . . . .		16,75	12
166,90	Jonage-Cusset . . . . .		12,00	10
166,00	Lyon . . . . .			
	En aval de Lyon . . . . .		pour mémoire.	

d'eau correspondant à une tranche de 0 m. 10 d'épaisseur sur la superficie du lac Léman (en chiffre rond 58 millions de mètres cubes) produit donc dans sa chute entre la sortie du lac et la frontière française :

$$= \frac{2 \times 58 \times 10^6 \times 29 \text{ m.}}{1000} = 3.364.000 \text{ Kw-h et entre la frontière et Lyon}$$

$$= \frac{2 \times 58 \times 10^6 \times 136 \text{ m.}}{1000} = 15.776.000 \text{ Kw-h, c'est-à-dire } 12.412.000 \text{ Kw-h de plus}$$

sur le parcours français. Pour une tranche de 0 m. 20 d'épaisseur, ces chiffres seraient doublés, décuplés pour une tranche de 1 mètre. On voit de suite quel intérêt nous aurions à voir augmenter encore davantage la capacité du réservoir formée par le lac Léman. L'augmentation temporaire de 0 m. 35 exceptionnellement autorisée pendant le dernier hiver nous aurait procuré, si le Haut-Rhône avait été aménagé, un supplément de :

$$15.776.000 \times 3,5 = 55.216.000 \text{ Kwh.}$$

Un jeu de 0 m. 50 de part et d'autre du niveau moyen au lieu de celui des 0 m. 30 fixés par la convention de 1884, faisant passer l'épaisseur de la tranche régulatrice de 0 m. 60 à 1 m. 60, c'est-à-dire l'augmentant de 0 m. 40 nous procurerait :

$$15.776.000 \times 4 = 63.104.000 \text{ Kwh.}$$

et ainsi de suite. Or, puisque les riverains ont pu sans inconvénient s'accommoder pendant plusieurs mois d'une amplitude de 0 m. 95, il est permis de croire qu'ils pourraient bien accepter de façon définitive 1 mètre et peut-être plus. Nous y gagnerions pour notre part une bonne soixantaine de millions de KWh, lesquels, à raison de 0 fr. 02 l'un, représentent un bénéfice annuel d'au moins 1.200.000 francs.

RÉGIMES CONSIDÉRÉS	ÉPAISSEUR de la tranche régulatrice sur le lac Léman	CAPACITÉS de la réserve en millions de mètres cubes	DÉBITS d'étiage du Rhône en mètres cubes par seconde	SUPPLÉMENTS ANNUELS réalisés sur le Haut Rhône français par rapport au régime naturel antérieur à toute régularisation			
				en millions de kilowatts-heure	en millions de francs avec le kilowatt-heure à		
					0 fr 02	0 fr 03	0 fr 04
1 Régime naturel avant toute régularisation.	»	»	moins de 100 m. c.	»	»	»	
2 Régime de la Convention de 1884.	0m,60	350	140 m. c. (100 m. c. les di- manches)	95	1 900	2 850	3 800
3	0m,86	350	120	95	1 900	2 850	3 800
		149	40	40	0 800	1 200	1 600
		499	160	130	2 700	4 050	5 400
4 Régime temporaire exceptionnel au o- ri-é pendant l'hiver 1917-1918.	0m,95	350	120	95	1 900	2 850	3 800
		203	50	55	1 100	1 650	2 200
		553	170	150	3 000	4 500	6 000
5	1m,00	350	120	95	1 900	2 850	3 800
		232	53	63	1 260	1 890	2 520
		582	172	158	3 160	4 740	6 320
6 Régimes nouveaux à envisager	1m 12	350	120	95	1 900	2 850	3 800
		343	60	83	1 660	2 490	3 320
		653	180	178	3 560	5 340	7 120
7	1m 20	350	120	95	1 900	2 850	3 800
		350	65	95	1 900	2 850	3 800
		700	185	190	3 800	5 700	7 600
8 C'est vers une ampli- tude de 1m,50 qu'il convient ait d'orien- ter les négociations	1m,50	350	120	95	1 900	2 850	3 800
		522	78	142	2 840	4 260	5 680
		872	198	237	4 740	7 110	9 480
9	1m 514	350	120	85	1 900	2 850	3 800
		530	80	115	4 800	7 200	9 600
		880	200	240	6 700	10 050	13 400

De leur côté, les Suisses y gagneraient  $3.364.000 \times 4 = 13.456.000$  Kw-h, c'est-à-dire au même tarif de 0 fr. 02, un bénéfice annuel de 270 000 francs qui n'est pas non plus négligeable.

En réalité, notre gain serait plus grand que je ne l'indique, puisque l'amélioration de l'étiage, au lieu de s'arrêter à Lyon, se ferait sentir au delà. Il est vrai qu'à mesure que l'on descend vers l'aval, l'apport des affluents comme la Saône, l'Isère, etc..., procure pendant les basses eaux une amélioration qui dépasse vite celle qui peut provenir du lac Léman et qui efface peu à peu l'intérêt qu'elle présente en amont. C'est pour cela que je n'en ai pas tenu compte. Mais en évaluant le kilowatt-heure à 0 fr. 02 seulement, je suis resté certainement au-dessous de la vérité, car il s'agit là de Kw-h qui arrivent au moment des basses eaux, en hiver, c'est-à-dire dans la saison où les besoins sont les plus grands et où la force a le plus de valeur. Si, au lieu de ce minimum

de 0,02 on admettait que l'énergie d'hiver vaut 0,03, les 63 millions <sup>(1)</sup> de Kw-h, gagnés dans la tranche supplémentaire de 0 m. 40 sur le lac Léman, procureraient un bénéfice de 1.900.000 francs. Je crois qu'il n'y a aucune exagération à dire que cette opération vaut pour nous au moins 2 millions de francs par an, en ne parlant toujours que de la force motrice et sans tenir compte des intérêts de la navigation sans doute non moins appréciables. Ce chiffre est sans doute digne d'intérêt, mais il ne paraît pas assez fort pour exercer une influence décisive dans les négociations qui pourraient déterminer la Suisse à entreprendre la révision de la Convention intercantonale de 1884. Il en serait autrement si au lieu d'une tranche de 1 mètre, on en envisageait une plus forte. Avec 1 m 20 par exemple, on doublerait la réserve ainsi que l'énergie et, par conséquent, le bénéfice qu'elle le quel les chiffres bleus <sup>(2)</sup> correspondent au régime de la convention de 1884 actuellement en vigueur.

En poussant l'amplitude des variations de niveau jusqu'à 1 m 50 <sup>(3)</sup>, on gagnerait donc chaque hiver 142 millions de Kw-h et 2.840.000 fr. sur le régime actuel et même jusqu'à 5 680.000 francs si l'on pouvait espérer 0 fr. 04 du Kw-h., ce qui n'est pas absolument impossible en hiver. Quoi qu'il en soit, avec une réserve de cette importance (tranche de 1 m. 50 au lieu de 0 m 60), l'opération deviendrait réellement intéressante et vaudrait la peine d'être tentée, surtout si l'on ajoute aux considérations qui viennent d'être développées l'intérêt d'une navigation meilleure qui, sans doute, n'a pas moins d'importance que la production de l'énergie.

L'Inspecteur Général des Forces Hydrauliques,  
R. DE LA BROSSE.

## UN EFFORT D'ORGANISATION NATIONALE

Le 9 septembre 1917 fut un jour d'heureuse initiative. Ce jour marque, en effet, la naissance d'un effort très sérieux d'organisation et de coordination de nos travaux publics nationaux. M. Claveille, ministre des Travaux publics et des Transports, créait, par décret, à cette date, le Conseil supérieur des Travaux publics.

Nous venons de définir le but poursuivi : quels moyens avait-on songé à utiliser pour le réaliser ? Dans quel esprit avait été conçu cet admirable effort qui doit mettre notre pays en état d'affronter avantageusement la lutte économique d'après-guerre ?

La réponse était donnée le 30 janvier 1919, par M. le Ministre des Travaux publics et des Transports, dans un rapport adressé au Président de la République. M. Claveille, dans ce travail très clair, réitérait les raisons de la création du nouvel organisme qu'il avait créé en les faisant précéder de leur éclatante justification.

Voici comment il s'exprimait :

Paris, le 30 janvier 1919

Monsieur le Président,

Il n'y a guère plus d'une année que le Conseil supérieur des travaux publics a été institué par le décret du 9 septembre 1917. Si court qu'il soit, ce délai a suffi pour lui permettre de rendre de précieux services, gages de ceux qu'il promet dans l'avenir, de donner déjà la mesure de son utilité, et de justifier les idées qui en ont inspiré la création. C'est pour en témoigner qu'il me paraît utile de présenter

(1) Cas n° 5 du tableau

(2) Première ligne de chaque rangée dans le tableau précédent.

(3) Cas n° 8 du tableau.