Zeitschrift: Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes

Band: 13 (1887)

Heft: 1

Artikel: Régularisation du niveau du Lac Léman et utilisation des forces motrices du Rhône à Genève

Autor: Chappuis, Julien

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-13715

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: 09.07.2025

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

13e ANNÉE JANVIER 1886 N° 1

BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT 8 FOIS PAR AN

Sommaire : Régularisation du niveau du lac Léman et utilisation des forces motrices du Rhône à Genève, par Julien Chappuis, ingénieur. — Contribution à l'étude du magnétisme et de la construction des machines dynamo-électriques, par Roger Chavannes, ingénieur. Seconde partie (avec planche). — Société vaudoise des ingénieurs et des architectes.

RÉGULARISATION DU NIVEAU DU LAC LÉMAN

ET UTILISATION DES FORCES MOTRICES DU RHÔNE A GENÈVE[1]

Introduction.

Depuis fort longtemps le cours du Rhône, à son passage dans la ville de Genève, a été utilisé pour des forces motrices. Les moteurs, qui primitivement étaient des roues hydrauliques, étaient disposés dans les deux bras, sans plan ni vue d'ensemble, et pour l'usage d'industries diverses, généralement placées sur le fleuve lui-même. Depuis fort longtemps le canton de Vaud se plaignait de l'établissement de ces moteurs, qu'il accusait d'être une entrave considérable à l'écoulement naturel du Rhône à Genève et d'avoir comme conséquence une surélévation du niveau du lac et un allongement de la période des hautes eaux. Ces réclamations devinrent âpres à chaque période de hautes eaux extraordinaires et donnèrent lieu à un procès introduit devant le Tribunal fédéral, et qui a abouti à une entente définitive entre les divers intéressés et à une régularisation complète des niveaux par des travaux d'approfondissement du Rhône et par des moyens artificiels de retenue des eaux, afin d'empêcher le niveau de descendre au-dessous d'une cote fixée à l'amiable.

Parmi ces moteurs, le plus important de tous fut celui établi par la ville de Genève pour son service hydraulique et qui se développa peu à peu, au fur et à mesure du plus grand emploi de l'eau, et qui consistait, en 1883, en deux roues et deux turbines, faisant ensemble une force d'environ deux cents chevaux.

Projet Vallée. 1857.

Ensuite des inondations de 1856, le gouvernement français fit étudier par M. Vallée, ingénieur en chef des ponts et chaussées, le problème d'une retenue complète des eaux versées du lac Léman dans le Rhône pendant un temps suffisant pour permettre aux eaux d'inondation, provenant du bassin en aval du lac, d'écouler leur crue extraordinaire ; ceci afin de diminuer la hauteur des eaux du Rhône à la traversée de Lyon.

M. Vallée se rendit à Genève, en 1857, et étudia d'une manière très détaillée le régime des apports d'eau dans le lac et le régime du Rhône à sa sortie du lac. Il trouva que la plus grande différence entre les hautes eaux et les basses eaux du lac était de $2^{m}800$. Il estima que le plus grand apport dans le lac était de 1200 m^3 par seconde et que cet apport maximum se produisait rarement (34 jours en 50 ans). Il calcula que pour abaisser le bassin du lac, supposé fermé, d'un centimètre par jour, il fallait un débit de 67^{m3} par seconde.

Enfin il estima que les travaux devaient être basés sur un débit maximum ordinaire de 700^{m3} par seconde. Les chiffres posés par M. Vallée sont encore admis aujourd'hui et c'est sur ces chiffres que le projet de régularisation du lac proposé aux Etats intéressés est basé.

Après avoir visité les rives du lac, M. Vallée reconnut promptement qu'il y aurait grand avantage à ce que la différence entre les *hautes* et *basses eaux* soit réduite, en relevant le niveau des plus basses eaux et en diminuant la hauteur des hautes eaux. Pour cela il proposa l'établissement d'un barrage mobile à la hauteur du pont de la machine.

Ce barrage était calculé pour un niveau
des plus hautes eaux de — $0^{m}450$ sous P. N.
et » basses eaux de — $2^{m}250$ »
soit pour une dénivellation du lac de $1^{m}800$; il y aurait eu par conséquent, du fait de ce projet, amélioration notable dans le régime du lac.

M. Vallée calcula que sur ces bases on pourrait retenir, en temps d'inondation, les eaux du lac pendant un temps suffisant pour diminuer la crue du Rhône à Lyon de $0^{m}620$, sans dépasser la cote des plus hautes eaux du lac.

Le projet Vallée consistait à draguer tout le Rhône, depuis le lac jusqu'à la Jonction, de façon à lui donner une profondeur de 3 m. au-dessous des basses eaux ; en même temps on supprimait et expropriait tous les moteurs, sauf celui de la machine hydraulique. En ce moment, les moteurs particuliers étaient estimés à 144 chevaux et celui de la machine hydraulique à 50 chevaux.

Pour régulariser le niveau, M. Vallée établissait à la hauteur du pont actuel de la machine un barrage mobile formé de 27 pertuis de 5 m. fermés par des poutrelles métalliques de 1 m. de hauteur, placées les unes au-dessus des autres et manœuvrées par des grues pivotantes placées sur chaque pile. Dans la partie du barrage faisant face à la machine hydraulique était disposée une partie pleine, dans laquelle des tuyaux de fonte, en nombre suffisant, laissaient le passage pour ame-

[1] Conférence donnée à la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes, le 27 novembre 1886, par M. Julien Chappuis, ingénieur, entrepreneur de ces travaux.

ner à la machine hydraulique de l'eau en suffisance pour lui donner en tout temps une force nette de 50 chevaux.

Le coût de ce projet était de 3 700 000 fr. ; dans l'idée de M. Vallée, cette dépense devait incomber au gouvernement français.

M. Vallée fut déjà frappé en 1857 de l'immense force hydraulique perdue à Genève sans profit pour personne, et il proposa de créer, à l'aval de l'Ile, un second barrage plus bas que celui d'amont, fermé en tout temps et permettant d'obtenir une force constante qu'il évaluait à 1000 chevaux.

M. Vallée étudia en même temps les moyens de régulariser les crues du Rhône dues à l'Arve en amenant cette rivière dans le lac.

Il estima le débit minimum de l'Arve à 20^{m3} par seconde, et son débit maximum à 624^{m3}, et trouva qu'en amenant l'Arve dans le lac et fermant la sortie du lac, les eaux d'inondation à Lyon pourraient être diminuées de $0^{m}750$.

Le projet Vallée ne fut suivi d'aucune application ; le gouvernement français oublia rapidement les conséquences d'une inondation, comme celle de 1856, pour la contrée du bas Rhône, et ne fit aucune démarche pour donner suite aux remarquables études de M. Vallée.

Projet Pestalozzi et Legler.

Depuis 1857, la durée des hautes eaux du lac augmenta chaque année, et ensuite de la reconstruction de la machine hydraulique, de 1861 à 1872, le conflit entre Vaud et Genève prit un caractère aigu. Le canton de Vaud provoqua de nombreuses expertises et, en 1874, il fit étudier l'état des lieux et les remèdes à y appliquer, par deux hydrauliciens distingués, MM. Pestalozzi, professeur, et Legler, ingénieur de la Linth.

Le programme imposé à ces messieurs fut :

1° Constater l'effet nuisible des hautes eaux sur les terrains riverains du lac ;

2° Proposer et décrire les travaux nécessaires pour obvier à l'envahissement progressif des rives du Léman par les eaux et obtenir un abaissement moyen du lac en été et en hiver, tout en assurant les résultats suivants :

a) Assainissement utile, agricole et urbain des rives du lac Léman ;

b) Le maintien de la navigation ;

c) Le maintien et le développement progressif de l'alimentation de la ville de Genève en eaux potables et industrielles ;

d) La régularisation de l'écoulement du Rhône, à Genève, au moyen d'un ouvrage dont le jeu et le contrôle puissent être réglés par une convention intercantonale ;

e) Evaluer les dépenses nécessaires pour réaliser l'entreprise projetée.

MM. Pestalozzi et Legler se mirent immédiatement à l'œuvre et constatèrent par une visite autour du lac l'influence déplorable des hautes eaux sur les terrains et les villes placés dans le voisinage immédiat du lac.

Ils vérifièrent par des jaugeages les apports d'eau dans le lac et la puissance d'écoulement du Rhône, à Genève. Ils étudièrent, par des jaugeages répétés, le régime du lac pendant l'année 1874, afin de pouvoir en conclure la loi des apports et des sorties et voir les moyens les plus propres à modifier le régime du lac dans le sens désiré.

Après avoir étudié les influences du banc de Travers, des jetées et des diverses constructions établies dans le Rhône à la traversée de Genève, ils en conclurent que la régularisation du lac était possible, que pour l'obtenir il fallait à la fois augmenter la puissance d'écoulement du Rhône à sa sortie de Genève et barrer un des bras par un barrage mobile qui pourrait s'ouvrir ou se fermer partiellement ou complètement, selon les apports.

Le projet Pestalozzi et Legler conserve toutes les forces disposées sur le Rhône, à l'aval du pont de la Coulouvrenière, remplace celles situées en amont par une nouvelle usine hydraulique placée sur le bras gauche au-dessous du pont de la Coulouvrenière et actionnée par l'eau débitée par le bras gauche régularisé et avec une chute de $0^{m}600$. MM. Pestalozzi et Legler obtenaient ainsi une force de 300 chevaux pour remplacer l'ancienne machine hydraulique estimée à 200 chevaux de force.

Le bras droit était alors *régularisé*, *approfondi* et employé comme bras de libre écoulement du lac ; il était muni d'un barrage à aiguille, placé en aval de l'Ile et permettant à volonté de retenir ou de laisser passer les eaux.

Nous voyons que MM. Pestalozzi et Legler eurent les premiers l'idée de profiter de la circonstance que le Rhône, à la traversée de Genève, est divisé en deux bras ayant sensiblement la même puissance comme débit et d'employer un de ces bras pour la force motrice et l'autre pour la régularisation du lac.

Ces messieurs plaçaient le barrage du bras droit en aval de l'Ile, afin de garantir les fondations des quais de la rive droite.

Ils firent leur projet en comptant sur un écoulement maximum nécessaire de 700^{m3} par seconde et obtenaient, d'après leurs calculs, un abaissement des hautes eaux de $0^{m}630$.

MM. Pestalozzi et Legler estimaient la dépense nécssaire à l'exécution de leur projet à 800 000 francs.

Le projet Pestalozzi et Legler était étudié uniquement au point de vue vaudois, et ces messieurs ne se préoccupaient pas du tout du moyen le plus propre à utiliser toute la force motrice du Rhône à sa traversée de Genève ; ils ne s'occupaient, au point de vue de la force motrice, qu'à conserver la force utilisée à ce moment, 1874 ; c'est pour cela que ce projet ne crée qu'une nouvelle usine de 300 chevaux, tandis que le projet actuellement en exécution permet de créer successivement une force de 6000 chevaux.

Projet Favre, Turrettini et Achard.

Au moment où MM. Pestalozzi et Legler déposaient leur projet en mains du gouvernement vaudois, en 1875, MM. Favre, Turrettini et Achard firent des propositions basées sur des données toutes nouvelles. Ces messieurs proposèrent d'abandonner la force hydraulique du Rhône à la traversée de Genève, à l'exception de la turbine Callon, conservée comme *machine de secours*, et de transporter l'usine hydraulique sur l'Arve, à l'endroit dit *au bout du monde*.

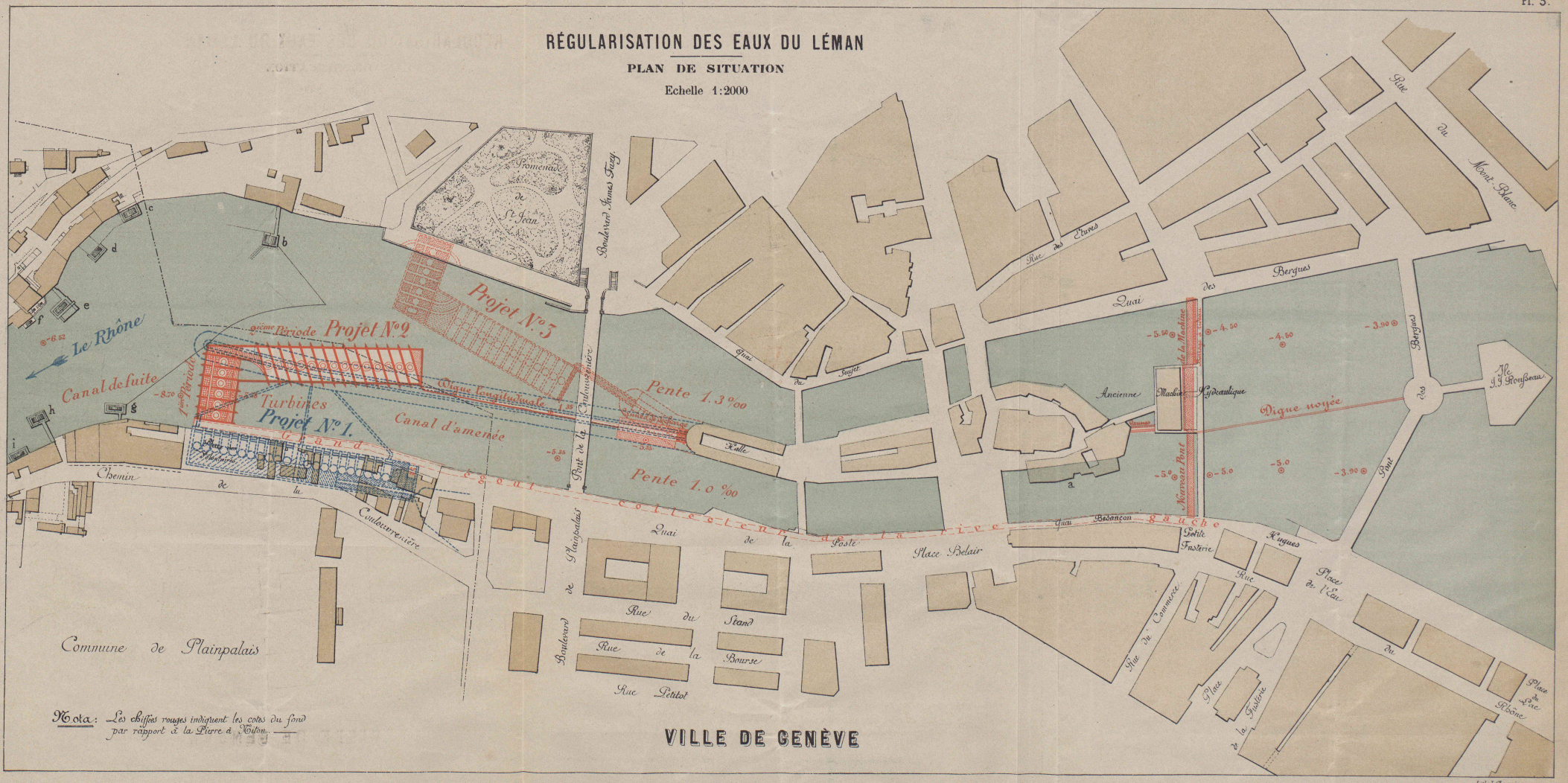
Ces messieurs proposaient de barrer l'Arve et de creuser au travers de la presqu'île un canal industriel dérivant 20^{m3} d'eau par seconde qui, sous une chute de $4^{m}700$, donnaient une force hydraulique brute de 1250 chevaux.

L'eau d'alimentation aurait alors été l'eau d'Arve puisée dans des puits creusés dans la presqu'île du Bout du monde, laquelle

RÉGULARISATION DES EAUX DU LÉMAN

PLAN DE SITUATION

Echelle 1:2000



Lith. J. Chappuis

Seite / page

leer / vide / blank

est composée d'une forte couche de sable, constituant un puissant filtre naturel.

La turbine Callon, avec ses pompes, était alors conservée pour servir dans les cas d'inondation de l'Arve.

Ces messieurs estimaient que pour donner 200 litres par habitant, pour une ville de 80 000 âmes, il leur faudrait une force nette de 300 chevaux ; il leur restait une force nette de 500 chevaux pour l'industrie.

Le coût de ces installations était estimé à 2 250 000 fr., dont 750 000 devaient incomber au canton de Vaud, qui obtenait alors son desideratum du libre écoulement du Rhône à Genève.

MM. Pestalozzi et Legler, consultés par l'Etat de Vaud sur la valeur de ce projet au point de vue du niveau des eaux du lac estimèrent qu'en régularisant complètement les deux bras du Rhône en aval de la machine et en plaçant toutes les roues en aval du pont de la Coulouvrenière, sur un même radier, on pourrait obtenir un abaissement du niveau des hautes eaux de $1^{m}05$.

Ces messieurs proposaient l'établissement d'un barrage mobile à la hauteur du pont de la machine, afin d'empêcher les eaux de devenir trop basses, ce qui aurait entravé la navigation. Ils estimaient que la turbine Callon pouvait être conservée ainsi que l'usine hydraulique actuelle, à condition de n'être utilisée que pendant les basses eaux.

MM. Pestalozzi et Legler estimaient le coût des constructions et dragages à exécuter dans le Rhône pour obtenir un abaissement des hautes eaux du lac de $1^{m}05$ à 750 000 fr. Ce projet conservait toutes les forces existant sur le Rhône en aval du pont de la Coulouvrenière et donnait une complète satisfaction à l'Etat de Vaud.

MM. Favre, Turrettini et Achard demandèrent à l'Etat de Genève la concession de la force motrice de l'Arve : cette autorité ne leur donna aucune réponse, parce qu'un nouveau projet proposé par MM. Henneberg et Cie, était à l'étude.

Projet Ritter.

MM. Henneberg et Cie, propriétaires des terrains de la Jonction, dans le but de donner de la valeur à ces terrains, eurent l'idée de capter toute la force hydraulique du Rhône à sa traversée de Genève, tout en donnant satisfaction au canton de Vaud pour ce qui concerne le niveau du lac, et à la France pour la diminution des hautes eaux à Lyon en temps d'inondation, par l'arrêt complet du Rhône à l'aide d'un barrage mobile.

Ces messieurs chargèrent M. l'ingénieur Ritter, constructeur des travaux de force motrice à Fribourg, d'étudier un projet sur ces données.

M. Ritter admit les données suivantes :

Débit maximum du Rhône	700^{m3}
» minimum »	80^{m3}
» moyen »	270^{m3}
Cote des plus hautes eaux du lac,	— $0^{m}950$ sous P. N.
Cote des plus basses eaux du lac,	— $1^{m}450$ »
Chute disponible	$2^{m}00$.

M. Ritter admettait pour ses moteurs un travail de 10 heures pendant 6 jours par semaine, et en basses eaux la fermeture complète de l'écoulement du lac pendant les heures de nuit et les dimanches ; il arrivait ainsi à obtenir une force moyenne de 7200 chevaux bruts.

Pour obtenir sa chute, M. Ritter prévoyait la suppression de toutes les forces hydrauliques disposées sur le Rhône dans Genève, et restituait aux propriétaires de ces moteurs leur force motrice depuis son usine hydraulique. Il prévoyait également le dragage du fleuve depuis l'usine jusqu'à la Jonction, à 4 m. au-dessous des plus basses eaux.

M. Ritter abandonnait l'idée de l'emploi d'un des bras du Rhône comme bras industriel et de l'autre comme émissaire du lac ; il barrait tout le Rhône en aval du pont de la Coulouvrenière et y disposait son bâtiment pour 20 turbines de 300 chevaux et 2 de 60 chevaux ; le reste du barrage était muni de 17 pertuis de 5 m. avec vannes permettant le libre écoulement à volonté.

Il disposait son barrage pour pouvoir débiter au besoin en hautes eaux 1000^{m3} par seconde.

Il proposait de transporter l'usine hydraulique de la ville en aval du pont de la Coulouvrenière et de disposer, place des Volontaires, 4 turbines de 300 chevaux, affectées uniquement à ce service.

Les dépenses prévues par M. Ritter étaient de

	4 900 000 fr. pour la force motrice,
	2 000 000 » pour le service des eaux.
Ensemble	6 900 000 fr.

Le projet Ritter offrait plusieurs inconvénients.

1° Le canton de Vaud ne pouvait accepter de mettre la manœuvre du barrage entre les mains d'une société dont l'intérêt direct était de tenir le lac aussi haut que possible, pour obtenir le maximum de force possible, intérêt en contradiction manifeste avec celui des riverains du lac.

2° L'arrêt complet du Rhône, en dehors des heures de travail des turbines, était impossible, à cause des usines placées à l'aval de Genève.

3° Il était dangereux pour la ville de Genève de laisser concéder toute la force hydraulique du Rhône à Genève à une société privée, sous les fourches caudines de laquelle elle aurait dû passer pour son service des eaux.

Le 11 mars 1876, MM. Henneberg et Cie obtinrent la concession de la force du Rhône du Grand Conseil de Genève ; mais l'opinion publique s'émut de la chose et après une lettre écrite, dans le *Journal de Genève*, par M. Merle d'Aubigné, directeur du service des eaux, et proposant que la ville prît l'affaire en mains et construisît elle-même, MM. Turretini et Achard étudièrent la question au double point de vue du rendement et des difficultés d'exécution.

Les élections au Conseil administratif furent faites sur cette question. Les partisans de la construction par la ville ayant eu le dessus, le nouveau Conseil s'occupa immédiatement d'étudier un projet définitif et, afin de gagner du temps, traita avec MM. Henneberg et Cie pour obtenir de ces messieurs l'abandon de leur demande de concession en faveur de la ville.

La ville se présenta devant le Grand Conseil pour obtenir la concession en lieu et place de MM. Henneberg et Cie, après avoir obtenu leur consentement, et cette concession lui fut définitivement accordée.

La ville de Genève chargea alors M. l'ingénieur Legler d'étudier un projet définitif, tout en tenant compte des desiderata

du canton de Vaud. M. Legler se mit à l'œuvre et ainsi fut étudié le projet actuellement en cours d'exécution, basé sur l'emploi en basses eaux de 120^{m3} d'eau à la seconde sous une chute allant jusqu'à $3^{m}700$.

Les principales différences qui existent entre le projet actuellement en exécution et celui de M. Ritter sont :

1° Emploi d'un des bras comme bras industriel et de l'autre comme émissaire du lac.

2° Utilisation de toute la chute disponible qui peut aller jusqu'à $3^{m}700$, au lieu de 2 m. comptés par M. Ritter.

3° Transmission de la force par eau sous pression au lieu des câbles prévus par M. Ritter.

4° Division de la construction en plusieurs périodes, de façon à échelonner la dépense et à établir les installations au fur et à mesure des besoins de force motrice.

5° Séparation complète des constructions nécessaires aux forces motrices et de celles nécessaires pour obtenir la régularisation du niveau du lac.

Projet actuellement en exécution.

Ce projet consiste à prendre un des bras (gauche) comme canal industriel, à supprimer le barrage en tête de ce bras et à prolonger la séparation des bras jusqu'au bâtiment des turbines en face de la place des Volontaires. Sur le prolongement de l'Ile, soit digue séparative, on intercale un vannage de 36 m. de largeur, permettant d'écouler dans le bras droit l'eau non utilisée par les turbines. Les moteurs situés sur rive gauche sont supprimés et le lit du Rhône est dragué depuis le bâtiment des turbines jusqu'à la Jonction.

Le bras droit est réservé comme émissaire direct du lac, en sorte qu'il fonctionne indépendamment du bras gauche.

La chute ainsi obtenue varie de $1^{m}700$ à $3^{m}700$ et la quantité d'eau minima à considérer sera 120^{m3} par seconde en basses eaux, grâce à la capacité de retenue du lac, qui fonctionnera en basses eaux comme réservoir régulateur.

Le bras droit est en entier réservé à la régularisation du lac: d'après le projet de régularisation soumis aux Etats, il sera muni à l'amont d'un barrage à rideaux qui permet à volonté de barrer ou de débarrer avec une grande facilité. Les cotes du lac prévues sont :

Basses eaux . . . $1^{m}900$ sous P. N.
Hautes eaux . . . $1^{m}300$ »

Les roues situées sur la rive droite seront enlevées et le bras droit régularisé à une cote de fond suffisante pour permettre en tout temps un écoulement de 700^{m3} par seconde avec le bras gauche. Il est admis que les apports de plus de 700^{m3} sont très rares et très courts et qu'en conséquence ils peuvent être retenus dans le lac.

La première période consiste à obtenir une force brute de 1800 chevaux ; pour cela on régularise le bras gauche jusqu'au bâtiment des turbines, on construit la digue séparative et le bâtiment pour 6 turbines ainsi que les fondations du bâtiment pour les 14 autres turbines. On construit les vannes de décharge entre le bras gauche et le bras droit ; on supprime les roues de rive gauche et régularise le lit aval du Rhône jusqu'à l'aval de l'usine à gaz.

Coût de la première période . Fr. 2 000 000
Egouts . . . . . » 288 600

Dans cette période, la chute motrice est réduite en hautes eaux à $1^{m}200$, ce qui nécessite pour le bras gauche un débit de 150^{m3} en hautes eaux.

La seconde période consiste à terminer le bâtiment des turbines et les dragages jusqu'à la Jonction ; on obtient ainsi une chute variant de $1^{m}700$ à $3^{m}700$ et une force brute minima de 6000 chevaux.

Dépenses : 1 635 000 francs.

Dépense totale, avec la partie des égouts afférente à ces travaux : 4 000 000 francs. (*A suivre.*)

CONTRIBUTION A L'ÉTUDE

DU MAGNÉTISME ET DE LA CONSTRUCTION

DES MACHINES DYNAMO-ÉLECTRIQUES

par Roger Chavannes, ing.

Seconde Partie

(Avec planche.)

APPLICATIONS

Comparaison du magnétisme d'une série dynamo et d'une shunt dynamo de carcasses identiques.

Nous avons vu que, pour la série dynamo, le magnétisme a pour expression :

$$\mu = \frac{1}{\beta}\left(\alpha - \frac{\Sigma R}{v}\,\frac{2}{Y\,b\,f\,L}\right)$$

et pour la shunt dynamo :

$$\mu = \frac{1}{\beta}\left[\alpha - \frac{2}{Z\,b\,f\,L}\,\frac{r_d}{v}\,\frac{1}{1 - \frac{R}{\Sigma R}}\right]$$

équations qui peuvent se ramener à la forme :

$$\mu = A_1 + A_2\,\frac{A_3 + \rho}{v}$$

$$\mu = B_1 - B_2\,\frac{B_3 + \frac{R}{\rho}}{v}$$

On voit mieux sous cette forme que les variations de la résistance extérieure ρ se traduisent par une variation plus forte du magnétisme dans le cas de la série dynamo que pour la shunt dynamo.

Pour étudier la courbe $\mu = \varphi(\rho)$, nous allons étudier un exemple particulier qui rendra les faits plus tangibles.

Problème. — Etant donnée une série dynamo la transformer en shunt dynamo de façon à ce que le magnétisme soit le même pour l'intensité normale du courant à la vitesse normale.

Supposons une machine du genre Gramme, type atelier, dont les données soient les suivantes :

$\frac{b\,f\,L}{2} = 5300$ cm R = 0,75 ohm

Y = 960 » r_s = 0,45 »

Chacun des 4 électros présente les dimensions suivantes :

longueur recouverte de fil l_1 = 15,3 cm
diamètre intérieur d_1 = 7,5 »
diamètre extérieur (avec fil) d_2 = 12,05 »

Une série d'expériences nous permettra de calculer α et β. Supposons qu'on ait trouvé :