

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 1 (1875)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Bellegarde  
**Autor:** Guiguer, Ch.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-2214>

### **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:** 25.02.2026

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

## CALCUL DES CONDUITES D'EAU SOUS PRESSION

par M. Edouard PELLIS, ingénieur, à Lausanne.

La formule de Prony

$$\frac{1}{4} d J = a u + b u^2$$

a été successivement simplifiée par MM. Dupuit, Barré de Saint-Venant et Darcy, et mise enfin sous la forme

$$M = \beta \sqrt{d^5 g}$$

dans laquelle :

M est le débit par 24 heures en mètres cubes,

d le diamètre des tuyaux en centimètres,

g la perte de charge, exprimée en mètres par kilomètre ; c'est la différence de niveau piézométrique, en mètres, des deux extrémités de la conduite, divisée par sa longueur développée exprimée en kilomètres.

 $\beta$  est un coefficient qui varie avec le diamètre comme suit :

Valeurs de d	Valeurs de $\beta$
1 . . . . .	0,253
2 . . . . .	0,316
3 . . . . .	0,352
4 . . . . .	0,3725
5 . . . . .	0,388
10 . . . . .	0,425
15 . . . . .	0,441
30 . . . . .	0,457
100 . . . . .	0,471

Pour résoudre cette formule par rapport au diamètre d, qui est en général la variable inconnue, il faut procéder par tâtonnements et approximations, ce qui constitue une marche incertaine, longue et peu commode pour le praticien<sup>1</sup>.

Il m'a donc paru qu'il y aurait avantage à traduire cette formule en un tableau graphique ; une première édition en a paru en 1870, une seconde en 1873, et l'accueil bienveillant que ce travail a reçu m'engage à le reproduire ici.

J'ai choisi naturellement la forme dite *anamorphose logarithmique* qui supprime les courbes et les remplace par des lignes droites, au moyen d'une graduation spéciale des axes coordonnés. A cet effet j'ai posé :

$$\log. M = \log. \beta + \frac{5}{2} \log. d + \frac{1}{2} \log. g$$

les deux termes  $2,5 \log. d$  et  $\log. \beta$  ont été réunis pour servir à la graduation de l'un des deux axes.

Deux quelconques des trois variables étant données, le tableau fournit la troisième immédiatement par une simple lecture. Pour le meilleur emploi du tableau, on évaluera logarithmiquement les subdivisions interlinéaires.

*Exemple.* Quel est le débit d'une conduite de dix centimètres de diamètre, avec une perte de charge de 10 mètres par kilomètre ? En suivant la verticale cotée 10 jusqu'à sa rencontre avec l'horizontale 10, on tombe diagonalement sur 425 mètres cubes par 24 heures. Les deux échelles parallèles permettent de traduire immédiatement ce débit, soit en onces d'eau, soit en litres par seconde.

Le tableau suppose des tuyaux revêtus par l'usage d'un

dépôt superficiel intérieur ; des tuyaux neufs en fonte débiteront un volume plus considérable.

Il arrive fréquemment, dans la pratique, que la perte de charge ne constitue pas une donnée absolument fixe et inviolable, c'est-à-dire qu'elle peut être choisie par l'ingénieur entre certaines limites. Il y a lieu alors à examiner avec soin l'effet des variations de la perte de charge sur la valeur du diamètre des tuyaux, afin de se prononcer en connaissance de cause. Le tableau graphique permettra de construire rapidement une courbe ayant pour abscisses les diamètres et pour ordonnées les pertes de charge correspondantes ; l'inspection de cette courbe est d'une grande utilité pour arriver à la solution la plus avantageuse.

Les conduites se calculent en général en un seul tout lorsque le débit ne varie pas, c'est-à-dire que l'on applique un même diamètre sur toute la longueur, malgré les variations de pente des diverses parties. Toutefois, dans les cas où la canalisation présenterait une partie en forte pente et d'une notable longueur, à l'aval d'une partie moins inclinée, il convient de s'assurer de la pression intérieure des divers points saillants de la conduite : le tableau fournit rapidement cette hauteur piézométrique et permet ainsi de voir s'il est nécessaire de calculer les diamètres par sections distinctes.

Nous rappellerons enfin les rapports suivants, qui sont d'un usage fréquent :

1 litre par seconde équivaut à 86,400 mètres cubes par 24 heures, ou à 13,555 onces.

1 once d'eau<sup>1</sup> équivaut à 6,480 mètres cubes par 24 heures, ou à 4 1/2 litres par minute, ou à 0,075 litre par seconde.

1 mètre cube par 24 heures équivaut à 0,01574 litre par seconde, ou à 0,15452 once.

<sup>1</sup> Unité de mesure en usage à Lausanne, à laquelle tend à se substituer la mesure en litres par minute.

## BELLEGARDE

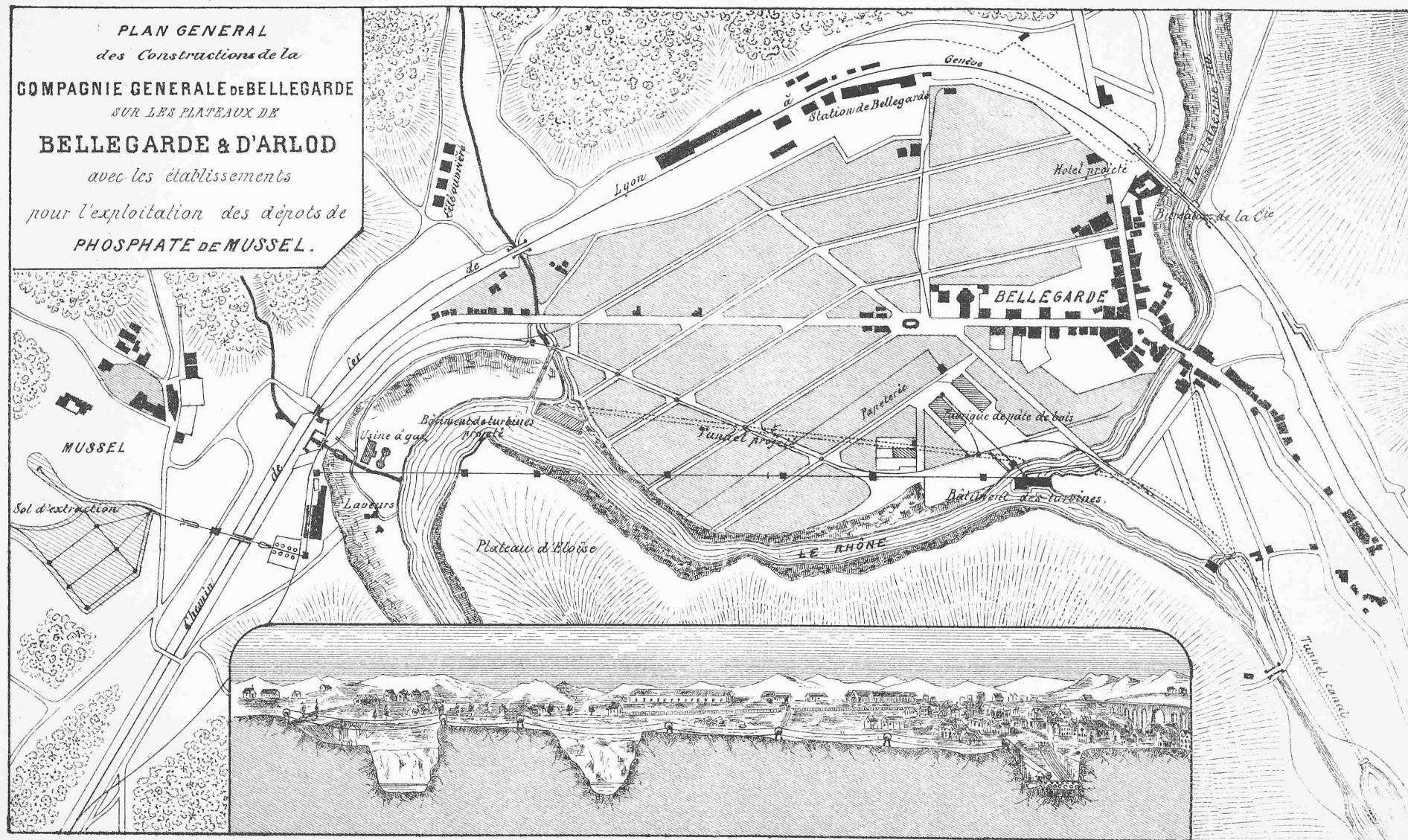
D'après les numéros de mars et avril 1874 du journal l'Engineer.

La transmission d'un pouvoir moteur à de grandes distances intéresse à juste titre les ingénieurs contemporains. Les projets les plus divers ont été mis sur le tapis à cet égard ; nous croyons être agréables à nos lecteurs en leur donnant une description succincte et générale d'une des plus intéressantes entreprises industrielles qui aient jamais été mises à exécution. — Nous voulons parler de l'affaire entreprise par la compagnie générale de Bellegarde.

Dans le département de l'Ain, à l'extrême frontière Est de France, se trouve Bellegarde, petite ville située à environ quinze milles (vingt-cinq kilomètres) de Genève et enfermée entre le Rhône et un petit torrent de montagne appelé la *Valserine*. La contrée présente un large plateau borné par les derniers contreforts du Jura. Le Rhône, près de Bellegarde, coule dans une gorge étroite et, en un point, disparaît dans un entonnoir appelé la *Perte du Rhône*.

En 1872, fut formée la compagnie générale de Bellegarde pour utiliser le pouvoir moteur des eaux du district. Le gouvernement français accorda une concession, autorisant la compagnie à prendre au Rhône un volume de soixante mètres cubes par seconde et à l'employer, ainsi que l'eau de la Valserine, comme

<sup>1</sup> Cette formule se trouve citée par M. Bürkli, dans son ouvrage intitulé *Anlage und Organisation städtischer Wasserversorgungen*. Zurich 1867.



APPLICATION DE LA FORCE HYDRAULIQUE A BELLEGARDE

Seite / page

4 (3)

leer / vide /  
blank

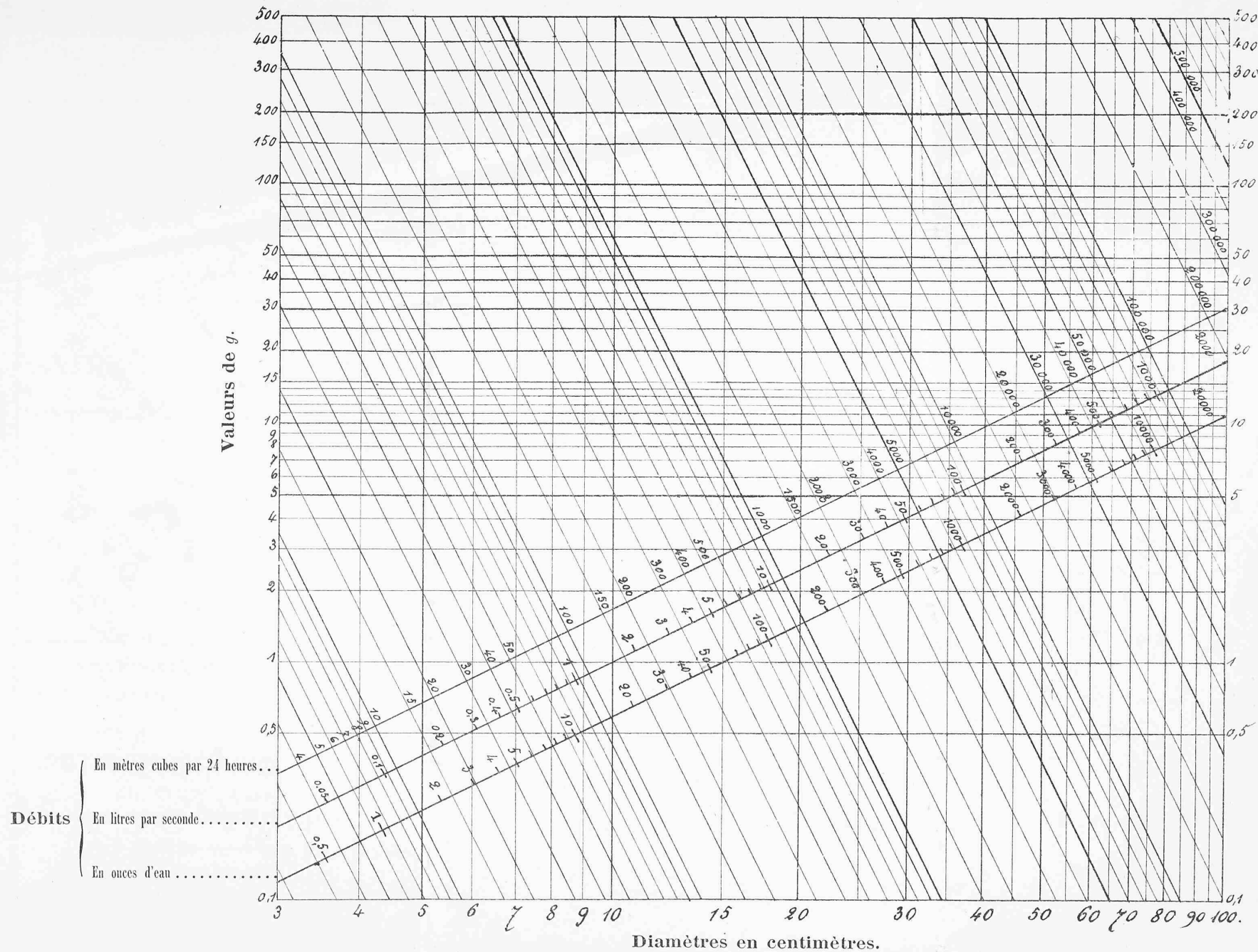


TABLEAU POUR LE CALCUL DES CONDUITES D'EAU, PAR ED. PELLIS, INGÉNIEUR

Seite / page

4 (5)

leer / vide /  
blank



elle le jugerait convenable. Sur cette concession les travaux furent entrepris, la force totale étant d'environ douze mille chevaux.

Pour utiliser cette grande puissance motrice, l'eau est amenée depuis un point en amont de la perte du Rhône par un grand tunnel, canal de 550 mètres de long, s'étendant jusqu'au confluent du Rhône et de la Valserine. C'est là qu'est établi un bâtiment pour six turbines Jonval.

Chacune de ces turbines est construite pour un débit variant entre 5188 à 6092 litres par seconde pour une chute comprise entre 13 mètres 01 et 11 mètres 08. En admettant un rendement de 70 % seulement, chaque turbine représente une force de 630 chevaux et les six un pouvoir moteur de 3780 chevaux. — Aussitôt que cette force sera utilisée, un bassin de réception sera construit dans le lit de la Valserine et servira de point de départ à un nouveau tunnel dirigé du côté d'Arlod. Un nouveau bâtiment de turbines sera construit pour recevoir des moteurs actionnés par l'eau amenée par ce nouveau canal. — L'eau de la Valserine peut être utilisée par la première série de turbines ou être rejetée lors des crues.

La construction du bâtiment des moteurs a rencontré de grandes difficultés. On a été obligé de détourner le lit de la Valserine et de construire une digue en pierres assez haute pour dépasser le niveau des plus hautes eaux. Dans le principe on devait construire cinq turbines seulement; mais quand les travaux préparatoires furent terminés, on vit qu'il était possible de placer un sixième moteur près d'une paroi de rocher qui atteint environ 37 mètres de hauteur.

Les six turbines sont du système Jonval et ont été construites, ainsi que toutes les installations qui s'y rattachent, par MM. Rieter et C<sup>e</sup>, de Winterthur, qui ont réussi à établir un ensemble remarquable à tous égards. Le système des moteurs eux-mêmes, des pivots, de la mise en train, de l'arrêt et de la décharge, a été étudié et exécuté avec une science et une ingéniosité qui font le plus grand éloge des constructeurs.

Les travaux entrepris par la compagnie générale de Bellegarde peuvent se partager en trois catégories distinctes.

1<sup>o</sup> Etablissement de récepteurs hydrauliques utilisant la force motrice du Rhône et de la Valserine.

2<sup>o</sup> Transmission de ce pouvoir moteur sur les plateaux de Bellegarde et d'Arlod et sa répartition aux différentes industries situées sur le parcours.

3<sup>o</sup> Extraction et lavage des phosphates calcaires pour engrais.

Nous avons parlé déjà du premier objet de l'entreprise. Nous devons maintenant quelques mots sur les deux autres.

Chaque turbine porte sur son arbre une roue d'angle qui par le moyen d'un pignon denté actionne deux grandes poulies de 5<sup>m</sup> 50 de diamètre destinées à recevoir les câbles de transmission. Chaque poulie peut transmettre 300 chevaux de force avec 70 révolutions par minute; ce qui correspond à une vitesse à la circonférence de 1191<sup>m</sup> 8 par minute ou 71 k. 5 à l'heure.

La force motrice des turbines est d'abord transmise par les câbles au niveau du plateau. La distance entre le bâtiment des turbines et cette première station est 60<sup>m</sup> et la différence de niveau est de 36<sup>m</sup>. De là, les câbles sont conduits sur le plateau le long de routes et de railways établis par la compagnie et de chaque côté desquels viennent se fixer les différentes industries. Il y a 6 stations de câbles. Le maximum entre les

poulies de support est de 171<sup>m</sup>. C'est là une quantité que l'expérience a prouvé ne devoir pas être beaucoup dépassée sans grands inconvénients. Les câbles ont  $\frac{3}{4}$  de pouce anglais de diamètre et sont en fer de Suède. Les poulies des 2<sup>e</sup>, 3<sup>e</sup>, 4<sup>e</sup>, 5<sup>e</sup>, et 6<sup>e</sup> stations sont à double gorge, de façon à recevoir au besoin un 2<sup>e</sup> câble parallèle au 1<sup>er</sup> pour actionner une usine placée sur la même ligne. C'est le cas pour la 2<sup>e</sup> station d'où part un câble secondaire qui donne 30 chevaux de force à la fabrique de petits ouvrages en bois de MM. Sigonnet et Gaillard.

Pour ces transmissions télodynamiques, les câbles doivent être placés rigoureusement dans un plan parfaitement vertical et fonctionner toujours en ligne droite. Si l'on doit changer la direction, il faut se servir non pas de poulies de renvoi, mais bien de roues d'angle. Les poulies doivent être de grand diamètre; leur gorge bien creusée et revêtue de vieilles courroies découpées en petites longueur, estampées selon la forme et les dimensions des gorges et ajustées dans ces gorges verticalement, et une à une.

Sur six turbines, une seule n'est pas encore répartie. Les cinq autres donnent ou donneront leur force aux diverses industries dont l'installation avance rapidement.

Les pompes absorbent pour le moment 100 chevaux et en emploieront 300 plus tard. L'eau est distribuée aux différents service des usines et à l'exploitation de phosphates. Une grande fabrique de pâte de bois avec dix jeux de broyeurs absorbe 300 chevaux de force, les propriétaires de cette usine se proposent de doubler leur produit. On construit, pour utiliser cette pâte de bois, une grande papeterie, presque terminée aujourd'hui qui prendra environ 600 chevaux.

D'autres usines moins considérables sont venues s'établir sur le plateau de Bellegarde et reçoivent toutes la force motrice nécessaire des câbles principaux établis par la compagnie générale.

La force motrice est vendue maintenant 200 à 300 fr. par force de cheval et par an; de plus, pour favoriser la création d'établissements industriels, les terrains appartenant à la compagnie sont vendus à des prix fort modérés.

Disons maintenant quelques mots de l'exploitation des phosphates, qui absorbe 300 chevaux de force.

Les plateaux de Bellegarde ont été jadis le lit d'un océan, car ils sont composés essentiellement de coquilles marines très riches, on le sait, en phosphate de chaux.

Ce sel est employé avec succès comme engrais et l'exploitation de ces immenses gisements constitue un des meilleurs revenus pour la compagnie.

Dans le principe, la société s'appelait : *Rhône hydraulic Company* et ne s'occupait que de l'utilisation du pouvoir moteur du Rhône. Les phosphates formaient alors une affaire toute différente. Voyant la prospérité de cette exploitation, la compagnie hydraulique du Rhône la racheta et devint alors la *compagnie générale de Bellegarde*. Tant que l'exploitation des phosphates sera facile et les gisements riches, l'exploitation des phosphates sera très rémunératrice, tandis que pendant les premières années la vente du pouvoir moteur ne donnera que de faibles résultats financiers. Plus tard, au contraire, de nombreuses usines se seront établies, la force motrice des turbines rapportera davantage, tandis que les difficultés d'extraction des phosphates augmenteront, et que les gisements deviendront moins riches. Les deux affaires se soutiennent donc mutuellement.

Les phosphates sont extraits sous forme de roche, puis passent dans des moulins qui les brisent et enfin sont lavés avant d'être vendus.

Voici donc en peu de mots la description de cette gigantesque entreprise, qui a été admirablement menée à bien par MM. Rieter et C<sup>e</sup>. Nous ne dirons rien de spécial sur les turbines, mais seulement que les devis pour toutes les constructions étaient de 7 500 000 fr., et que les installations faites jusqu'à présent n'ont coûté que 3 000 000. Le tunnel a coûté de 600 à 630 fr. le mètre courant. Il n'est revêtu de maçonnerie que sur une très petite longueur.

Au moment de terminer cet article, nous apprenons que la compagnie de Bellegarde va publier un fort bel album sur ses constructions, avec des explications très détaillées et très complètes.

CH. GUIGUER DE PRANGINS, ing.

### NOTE SUR UNE ÉCLUSE DE COLMATAGE

par M. WILLIAM FRAISSE, ingénieur,  
inspecteur fédéral de la correction du Rhin et des eaux du Jura.

Les travaux de la correction du Rhin, entrepris ensuite d'un décret des chambres fédérales de 1862, ont donné lieu à diverses améliorations locales qui en sont des conséquences accessoires; c'est ainsi que le fleuve qui, sur les 75 kilomètres de son cours entre la limite du canton des Grisons et le lac de Constance, ne pouvait être franchi que par des bacs à traîlle, se trouve aujourd'hui traversé par trois chemins de fer dont deux viennent de Bregentz et de Feldkirch en Suisse, et par sept ponts en charpente à l'usage du public des deux rives. Deux autres ponts sont entrepris et d'autres sont encore en projet. Ainsi encore la plaine du Rheintal avait à souffrir beaucoup du défaut d'écoulement des eaux pluviales et autres, qui, retenues par le niveau trop élevé du Rhin, séjournaient dans la contrée et entretenaient un état marécageux permanent dans de grandes proportions. La rectification du lit du Rhin permet maintenant de procurer des embouchures plus sûres et plus régulières à une partie de ces eaux; plusieurs canaux d'assainissement ont déjà été faits dans ce but. Peu à peu toutes les communes se mettent en œuvre avec l'aide du gouvernement de Saint-Gall qui seconde cette tendance utile. D'un autre côté, la rectification du cours du Rhin et le rétrécissement de son lit normal aux largeurs convenues entre les états riverains, laisse sur les rives de vastes étendues stériles, reconquises ainsi sur l'ancien lit et qui ne présentent qu'un sol bas, couvert de sable ou de gravier et parfaitement inutile.

L'on peut évaluer en gros, avant tout mesurage cadastral, à plus de mille arpents la surface ainsi mise à l'abri du fleuve entre la ligne des nouvelles digues et celle très irrégulière des anciens bords. — Les crues du Rhin ayant parfois recouvert ces espaces d'un sable fin et limoneux, on a essayé d'y planter quelques arbustes, saules, peupliers ou aulnes. — Mais il est nécessaire aujourd'hui d'y pourvoir par un colmatage régulier et plus actif. L'avancement actuel de l'endiguement, qui a coûté plusieurs années d'efforts et une dépense de plus de dix millions, permet de s'occuper de ce complément; cela aura le double avantage de consolider le terrain en empêchant les filtrations nuisibles des hautes eaux qui se font par le sous-sol

toujours perméable et de procurer à l'administration un sol cultivable à boiser, dont la valeur deviendra par la suite une ressource importante pour le service de l'entretien des ouvrages.

Dans le courant de l'année 1874, M. Wey, l'ingénieur de la 1<sup>re</sup> section, qui s'étend sur 38 kilomètres, de la limite du canton des Grisons jusqu'aux rochers de Büchel, a essayé de colmater une vaste étendue de graviers le long de la rive gauche du Rhin entre Ragatz et Sargans, au moyen d'une ancienne écluse qui autrefois servait au commerce des bois flottés qu'on amenait par le Rhin depuis les forêts des Grisons jusque sous le village de Ragatz. — Cette écluse a été consolidée, réparée et munie de vannes nouvelles. L'essai a réussi de la manière la plus satisfaisante et a pu rassurer la population qui n'était pas sans inquiétude en voyant ouvrir ainsi une entrée aux eaux du Rhin qui, si souvent, avaient causé des ravages importants. En deux mois des hautes eaux d'été, juillet et août, M. Wey a réussi à recueillir une masse de sable limoneux qu'il évalue à 80 000 mètres cubes et qui s'est déposée sur une surface d'environ 90 hectares ou 250 arpents suisses.

Cette superficie très irrégulière, coupée de mille manières par les traces d'anciens courants et d'anciennes fouilles n'est pas recouverte uniformément malgré les soins qu'on a pris pour régler un peu la marche des courants; il y a telle ancienne chambre d'emprunt remplie de plus d'un mètre de bon limon: ailleurs il n'y a que quelques centimètres. Mais en total il y a un progrès immense et en quelques années M. Wey espère avoir comblé tout l'espace au niveau du sol voisin.

Convaincu par cet exemple rassurant, le gouvernement, appréciant l'importance de ce travail, a voté les fonds nécessaires à une application plus étendue dans d'autres parties de la contrée. C'est pour mettre à profit cet encouragement que M. l'ingénieur Wey a étudié la construction d'un système d'écluses propres à permettre un service de colmatage régulier sans jamais compromettre la sûreté et la solidité des digues si coûteuses qui forment la protection de toute la vallée contre les irrutions si redoutables et parfois si soudaines du Rhin.

Le modèle en bois qui a été mis sous les yeux de la société vaudoise des ingénieurs et architectes, est une reproduction à l'échelle  $\frac{1}{50}$  d'une de ces écluses. Mais avant d'en donner la description, il est bon de dire quelques mots de la puissance de colmatage des eaux du Rhin et des principales conditions de leur régime.

Recevant les eaux des montagnes du canton des Grisons et des nombreux glaciers qui en couronnent les cimes, le Rhin est en hiver réduit à un très faible volume et ses eaux sont alors relativement assez claires. Mais dès le mois de mai il grossit et conserve un niveau assez élevé jusqu'au mois de septembre. Son débit est alors de 500 à 1000 mètres cubes par seconde, et son eau est toujours trouble et chargée des terres, des sables et des limons qu'elle reçoit des nombreux torrents de montagne qui viennent augmenter son volume.

Parmi ces torrents il faut signaler le plus remarquable sinon le plus considérable d'entre eux, la Nolla, qui débouche à Thusis, sur la rive gauche, au sortir de la Via-Mala. Ce torrent descend du Pitz Béverin qui le domine et traverse un sol de schistes argileux de mauvaise nature dans lequel il s'est profondément encaissé. — C'est un danger sérieux et continuel pour les habitations des hauteurs voisines. — L'eau de la Nolla en se chargeant des schistes désagrégés du sol acquiert une cou-