

**Zeitschrift:** Bulletin de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes  
**Band:** 23 (1897)  
**Heft:** 3

**Artikel:** Les installations hydrauliques de l'usine-électrique de Chèvres (Canton de Genève)  
**Autor:** Grenier, W.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-19784>

### **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:** 13.04.2026

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

## BULLETIN

DE LA SOCIÉTÉ VAUDOISE

## DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

PARAISSANT A LAUSANNE 8 FOIS PAR AN

Administration : Place de la Louve.

(GEORGES BRIDEL & C<sup>o</sup> éditeurs.)

Rédaction : Rue Pépinet, 1.

(M. A. VAN MUYPEN, ing.)

Volume V

**Sommaire :** Les installations hydrauliques de l'usine hydro-électrique de Chèvres (canton de Genève), par W. Grenier, professeur à l'École d'ingénieurs de Lausanne. (Pl. 2.) — Pathologie des constructions métalliques, par E. Elskes, ingénieur des ponts métalliques à la Compagnie des chemins de fer du Jura-Simplon. — Revision de la loi sur la police des constructions, rapport du 24 avril 1897.

## LES INSTALLATIONS HYDRAULIQUES

DE L'USINE HYDRO-ÉLECTRIQUE

DE CHÈVRES (CANTON DE GENÈVE)

par W. GRENIER, professeur à l'École d'ingénieurs de Lausanne.

Planche N<sup>o</sup> 2.

L'entreprise municipale genevoise des Forces motrices du Rhône est actuellement la plus importante des exploitations de même nature qui existent en Suisse.

Le bâtiment des turbines n<sup>o</sup> 1 établi dans la ville même de Genève, à la Coulouvrenière, produit une force nette de 4200 chevaux. Sa mise en exploitation date de l'année 1886. Cette énergie est appliquée à l'élévation de l'eau potable de la ville, à une distribution d'eau motrice sous haute pression et à une distribution d'énergie électrique.

Les appels croissants de la consommation n'ont pas tardé à nécessiter la création d'une usine auxiliaire, celle de Chèvres, située en aval de la première, et l'on prévoit déjà que dans un avenir peu éloigné, la force de 10 à 12 000 chevaux conquise sur le fleuve à Chèvres se trouvant complètement utilisée, il y aura lieu de mettre en œuvre une troisième station motrice disposée en aval de la deuxième. On évalue à 13 000 chevaux environ la force à demander aux turbines de cette troisième usine.

Ces trois installations utiliseront donc, en trois gradins, toute la chute formée par le Rhône dans son parcours sur territoire genevois et développeront à elles trois une puissance nette totale voisine de 30 000 chevaux.

C'est de la deuxième usine, le bâtiment des turbines n<sup>o</sup> 2, mis en exploitation en 1896, et spécialement de la partie hydraulique de cette installation, que nous nous proposons d'entretenir les lecteurs du *Bulletin*.

## Description générale. Régime des eaux.

L'usine de Chèvres, construite de 1893 à 1895, se trouve située sur le Rhône, à 7700 mètres environ en aval de la Jonction (confluent de l'Arve et du Rhône) et à 8800 mètres environ du bâtiment des turbines N<sup>o</sup> 1. L'emplacement qu'elle occupe a été choisi, après d'assez longs tâtonnements, comme particulièrement propice à l'établissement des travaux de

barrage et de fondation de l'usine; le lit du fleuve y est, en effet, constitué presque exclusivement par un banc de molasse convenablement résistant. Des considérations hydrauliques avaient d'ailleurs amené l'administration compétente à placer le barrage dans la région de l'ancien moulin de Chèvres. Il s'agissait, en effet, de créer une chute suffisante, sans que toutefois la retenue nécessaire déterminât dans le fleuve, même dans les circonstances les plus défavorables, un reflux susceptible de se faire sentir plus haut que la Jonction. L'Arve est un voisin mal commode, dont il importait de ne pas entraver les emportements, et d'autre part l'intérêt de l'usine des Forces motrices de Genève commandait la précaution indiquée.

Étant donné le débit du Rhône en basses eaux, en aval de la Jonction (120 m<sup>3</sup> par seconde environ), la hauteur de chute se trouvait déterminée par les besoins d'énergie auxquels l'usine était appelée à satisfaire. Cette considération amena le service technique à adopter une chute de 8<sup>m</sup>50 en basses eaux.

Le remous superficiel provoqué par l'établissement d'un barrage en travers d'un cours d'eau à pente et à section uniformes s'étend d'autant plus loin en amont de l'ouvrage que le débit du cours d'eau est plus considérable. Pour satisfaire à la condition que le remous occasionné par la retenue de Chèvres ne dépassât en aucun cas la Jonction, il fallait donc prévoir pour les hautes eaux (débit 900 m<sup>3</sup> par seconde) l'abaissement du niveau superficiel au droit de la retenue, abaissement facile à obtenir au moyen de l'ouverture partielle du barrage, mais aboutissant à une réduction de la chute disponible en hautes eaux. Cette réduction est encore notablement aggravée par le relèvement des eaux d'aval, qui coïncide inévitablement avec l'abaissement du niveau d'amont. C'est ainsi que, de 8<sup>m</sup>50 qu'elle est en basses eaux, la chute disponible sur les turbines de Chèvres s'abaisse à 4<sup>m</sup>30 en hautes eaux ordinaires (abaissement à l'amont : 1<sup>m</sup>65; relèvement à l'aval : 2<sup>m</sup>55).

Dans les périodes de hautes eaux extraordinaires le débit du fleuve dépassant 1000 m<sup>3</sup> par seconde (il a atteint 1228 m<sup>3</sup> le 3 octobre 1888), force est d'ouvrir en plein le barrage, ce qui fait tomber la chute utile à un chiffre insignifiant et entraîne le chômage de l'usine. Ces crues extraordinaires sont du reste extrêmement rares.

Tandis qu'avant la création du barrage de Chèvres la pente

superficielle moyenne des eaux du Rhône entre la Jonction et l'usine était, comme celle du lit lui-même, de 0,00118, elle se trouve actuellement réduite aux chiffres suivants :

en basses eaux . . . . .	0,000 098
en hautes eaux ordinaires . . . . .	0,000 61
» » extraordinaires . . . . .	0,000 89

Il en résulte qu'en basses eaux la vitesse du courant est déjà extrêmement faible à quelques centaines de mètres en amont du barrage, si bien que dans cette région le fleuve se transforme en une sorte de lac. Cet aspect particulier se modifie sensiblement à l'époque des hautes eaux.

L'origine alpestre du Rhône et de l'Arve fixe le régime de ces deux cours d'eau dans la zone de leur confluent, à cela près que le Rhône vient de traverser le grand réservoir régulateur que lui constitue le Léman, tandis que l'Arve présente à la Jonction tous ses caractères de torrent absolument intacts. En aval de la Jonction, les basses eaux sont donc le régime habituel de l'hiver et du printemps, les hautes eaux celui de l'été et de l'automne.

L'usine de Chèvres dispose en conséquence durant la saison froide du maximum de chute avec le minimum de débit, et durant la saison chaude du minimum de chute avec le maximum de débit.

L'installation motrice à y créer devait tenir compte de ces conditions locales, de façon à en tirer le meilleur parti possible.

La solution adoptée par la maison Escher-Wyss et Cie, adjudicataire de la partie hydraulique des installations mécaniques, est la suivante :

Chaque unité motrice se compose (fig. 3) de deux turbines distinctes calées sur le même arbre vertical à deux niveaux différents, celle du haut noyée encore de quelques centimètres par les eaux d'amont du régime d'été et reliée aux eaux d'aval par un tube aspirateur en maçonnerie, celle du bas entièrement noyée par les eaux d'aval du régime d'été et à demi dénoyée par celles du régime d'hiver.

Durant les basses eaux d'hiver, la turbine inférieure est seule active, l'autre étant entièrement vannée; grâce à la chute de 8<sup>m</sup>50 alors disponible, elle peut, moyennant une dépense de 14 000 litres par seconde, développer un travail effectif de 1200 chevaux; son effet utile atteint à ce moment sa valeur supérieure, 75 0/0.

A mesure qu'aux approches de la saison chaude la chute disponible à l'usine va diminuant, la puissance de la turbine inférieure décroît, en sorte qu'il arrive un moment où il faut mettre en œuvre sa jumelle pour atteindre au nombre de chevaux exigé. Quand la chute est descendue à son minimum normal de 4<sup>m</sup>30, les deux turbines entièrement dévannées fournissent ensemble 800 chevaux effectifs avec une dépense de 21 500 litres par seconde, ce qui correspond à un rendement total de 65 0/0.

Eté comme hiver, l'arbre de la turbine double fait 80 révolutions par minute; l'allure est maintenue constante par un régulateur de précision, assisté d'un servo-moteur à huile comprimée, dont l'action s'exerce directement sur les vannages des deux turbines.

Avec ses dimensions actuelles, l'usine de Chèvres ne peut contenir que cinq groupes de turbines pareil à celui qui vient d'être décrit, plus deux dynamos excitatrices, des bureaux et un logement pour le contre-maitre. Elle ne mesure en effet que 63 mètres de longueur. Quand elle aura acquis son entier développement, elle mesurera 136 mètres de longueur sur 12<sup>m</sup>50 de largeur et renfermera 15 groupes moteurs actionnant chacun directement une dynamo à courant diphasé.

L'énergie motrice disponible en faveur des quinze alternateurs oscillera alors entre 10 500 chevaux en basses eaux d'hiver<sup>1</sup> et 12 000 chevaux en hautes eaux d'été.

Les fondations du bâtiment ont été d'emblée exécutées en vue de l'état définitif, la partie supérieure reste seule à édifier au fur et à mesure des besoins.

A la suite de cet exposé général nous allons entrer dans quelques détails au sujet des installations hydrauliques, des turbines et de leur réglage.

### Barrage et digue séparative.

(Voir fig. 1 et 2.)

Au droit de l'usine de Chèvres, le Rhône est partagé en deux bras par une digue longitudinale qui mesure 130 mètres de longueur, 4 mètres de hauteur et 2 mètres d'épaisseur à la base. Cet ouvrage est entièrement construit en béton de chaux lourde comme du reste la majeure partie de ceux dont se compose cette grandiose installation. Le bras gauche, commandé par le barrage, joue le rôle de canal de décharge; le bras droit, coupé obliquement par le bâtiment des turbines, forme canal d'amenée avant celui-ci et canal de fuite au delà. Le but de la digue séparative est de permettre aux eaux du canal de fuite, c'est-à-dire à celles dans lesquelles baignent les turbines, de demeurer à un niveau un peu inférieur à celui des eaux bouillonnantes du canal de décharge. On gagne ainsi quelques centimètres de chute et évite du même coup que le courant ne vienne battre violemment les assises du bâtiment des turbines au risque d'y produire des affouillements.

Le barrage, construit sur le système Stoney, est orienté perpendiculairement au lit du fleuve; sa longueur est voisine de 80 mètres. Il est composé de 7 piles en béton de 17 mètres de longueur sur 3 mètres de largeur et 9<sup>m</sup>50 de hauteur au-dessus du radier, qui laissent entre elles six larges baies de 10 mètres chacune, fermées par des vannes à coulissement vertical.

Le radier de ces baies est constitué par une couche de béton de 1 mètre d'épaisseur, recouverte d'une chape remplaçable formée d'une série de poutrelles de 10 centimètres d'épaisseur maintenues par des armatures métalliques. La partie inférieure des piles est protégée contre l'érosion due aux galets par une carapace de plaques en fonte de 3 centimètres d'épaisseur.

Les vannes qui constituent la partie mobile du barrage sont de vastes écrans à glissement vertical, entièrement métalliques, mesurant 10 mètres de largeur sur 8<sup>m</sup>50 de hauteur; elles supportent en hiver une pression de 360 tonnes et ne pèsent pas moins de 50 tonnes chacune. Leur coulissement est consi-

<sup>1</sup> En basses eaux (120 m<sup>3</sup> par seconde) le fleuve ne pourra alimenter que 8 à 9 groupes de 1200 chevaux chacun.

dérablement facilité par l'interposition de galets mobiles entre le cadre et les glissières, et leur poids est en grande partie équilibré par des caissons en tôle remplis de ferraille.

Grâce à ces précautions, deux hommes exécutent sans peine à l'aide de treuils fixes la manœuvre d'une vanne. La passerelle de manœuvre court d'un bout à l'autre du barrage, portée par des surélévations de 5 mètres dont les piles sont pourvues sur le quart de leur longueur.

L'eau qui ne trouve pas à s'écouler au travers du barrage se dirige sur le bras droit et s'engage dans le canal d'amenée, dont l'entrée est soigneusement raccordée avec la maçonnerie du barrage par un mur arrondi et dont le radier est entièrement bétonné. Large de 40 mètres environ à son origine, le canal va en se rétrécissant graduellement, forme rationnelle dont la conséquence est l'uniformité de la vitesse de l'eau dans ses différentes sections consécutives.

### Turbines.

(Voir fig. 3, 4 et 5.)

Comme nous l'avons vu plus haut, chaque unité motrice se compose de deux turbines superposées, solidaires dans leur mouvement et fonctionnant sous la même chute, grâce à la présence du conduit étanche en forme de S qui relie la turbine supérieure aux eaux d'aval.

Chacune des turbines a la forme d'un tronc de cône; pour s'en faire une idée juste il faut se représenter une turbine axiale à couronne triple, déformée de manière à s'appliquer non plus sur un plan perpendiculaire à son axe de rotation mais sur une surface conique évasée vers le bas; d'où il suit que la marche de l'eau y est centripète. Cette disposition réunit les avantages des types radial et axial, en atténuant notablement leurs inconvénients respectifs. L'une et l'autre roue fonctionne avec une légère réaction.

La turbine supérieure présente un diamètre moyen un peu moindre que l'inférieure, le cône en est un peu plus fermé; elle joue un rôle auxiliaire, consistant à venir en aide à sa jumelle quand la chute disponible s'atténue. Ce cas ne se présentant que pendant la saison chaude, on lui a donné le nom de *turbine d'été*. La roue inférieure qui fonctionne seule durant les basses eaux, est appelée *turbine d'hiver*. Le volume d'eau amené par le fleuve n'étant pas surabondant en hiver, et devant même devenir insuffisant, en dernière période, à l'alimentation des quinze turbines entièrement dévannées, il était essentiel que le rendement des moteurs fût relativement élevé en basses eaux. C'est la condition que le constructeur a réalisée, puisque marchant seule en hiver la roue inférieure fournit un effet utile de 75 %.

L'eau se trouvant en revanche surabondante en été, le rendement du groupe moteur pouvait se réduire sans grave inconvénient; obligé de donner à l'une des marches le pas sur l'autre, le constructeur n'a donc pas hésité à sacrifier la marche d'été. Le rendement n'en est pourtant pas inférieur à 65 %, à l'allure normale de 80 tours, et cela grâce au diamètre plus restreint de la roue supérieure.

La forme des distributeurs était commandée par celle des roues; chacun d'eux est disposé en trois étages limités extérieurement par des surfaces cylindriques verticales sur les-

quelles se meuvent horizontalement les bandes de l'appareil de vannage.

Celui-ci (fig. 6) est constitué par un ensemble de vannettes distinctes les unes des autres, mais toutes solidaires pour le même distributeur. Quand le vannage est tout ouvert, chaque vannette s'applique sur une surface pleine comprise entre deux canaux distributeurs et de même largeur que l'un de ceux-ci<sup>1</sup>, où elle se dissimule entièrement. Devient-il nécessaire de réduire le débit de la turbine, les vannettes s'avancent toutes ensemble, sous l'action d'une commande unique, et viennent obstruer plus ou moins l'entrée des canaux. Un mouvement très limité de l'appareil de vannage suffit ainsi à déterminer la fermeture ou l'ouverture complète du distributeur.

Cet appareil recouvrant le distributeur sur toute son étendue est la seule partie de la turbine qu'on puisse voir de l'extérieur; la vue est surtout arrêtée par les nombreuses nervures, verticales et horizontales, qui donnent à la pièce la rigidité nécessaire. Nous verrons plus loin de quelle manière a lieu la commande du vannage; il nous reste à dire ici deux mots de l'arrivée de l'eau dans la chambre des turbines et de la suspension de celles-ci.

Le canal d'amenée communique par de larges ouvertures avec les divers groupes moteurs; celles de ces baies qui donnent accès à des chambres non encore meublées de leurs turbines sont pour le moment cancelées par un rideau étanche de poutrelles engagées dans des rainures verticales ménagées dans la maçonnerie. Contre les avant-becs qui séparent ces ouvertures s'appuie un long râtelier incliné à 45°, destiné à retenir tous les corps flottants susceptibles d'endommager les turbines. Une passerelle longeant le bâtiment permet le curage de ce râtelier. Manœuvrables depuis cette plateforme, des vannes de sûreté à écran cylindrique et à charnière horizontale commandent l'entrée des chambres d'eau.

Eu égard au poids considérable des parties tournantes d'un groupe hydro-électrique (turbine double et alternateur), le constructeur a dû se préoccuper d'une manière très sérieuse de la question toujours délicate du mode de suspension de l'arbre vertical. A l'effet de réduire au minimum la valeur du coefficient de frottement au pivot, il a jeté son dévolu sur un type nouveau, le pivot annulaire à injection d'huile comprimée, disposition qui rappelle celle imaginée et appliquée jadis par Girard sous le nom de *pivot glissant hydraulique*, mais dont le succès n'avait été que passager vu la difficulté pratique de se procurer de l'eau en pression absolument exempte de limon en suspension.

Le principe de cet organe est fort simple: obtenir à l'aide d'un liquide onctueux, constamment amené sous pression entre la surface tournante du pivot et la surface d'appui fixe, un glissement non plus de métal sur métal, mais de métal sur liquide, donnant lieu à un frottement extrêmement réduit.

Chaque paire de turbines est donc portée, ainsi que la partie tournante de l'alternateur qu'elle actionne, par un pivot de cette nature caché sous le manteau de ce dernier. L'arbre est en outre centré dans les deux manteaux des distributeurs qu'il traverse.

<sup>1</sup> L'introduction extérieure pouvait seule permettre cette disposition.

L'huile nécessaire au fonctionnement des divers pivots glissants est fournie par un réservoir où règne constamment une pression de 15 atmosphères et alimenté par trois groupes de pompes à cylindres oscillants placés en sous-sol. Les pompes puisent cette huile dans de vastes bâches en tôle où elle fait retour depuis les pivots. L'active circulation à laquelle le liquide lubrifiant est soumis permet de ne le renouveler que rarement; c'est une dépense relativement minime. Détail intéressant: la permanence de la pression de 15 atmosphères nécessaire au bon fonctionnement des organes irrigués est assurée contre un arrêt temporaire des pompes de compression par l'ingénieux artifice que voici, auquel le constructeur a cru devoir recourir en évitation d'un accumulateur à piston.

La partie supérieure du réservoir d'huile est occupée par de l'air destiné à maintenir le liquide sous pression. Cet air provient d'un réservoir spécial à 30 atmosphères, qui le reçoit lui-même d'un compresseur actionné par un moteur électrique; il ne peut passer de l'un des récipients à l'autre qu'en traversant un détendeur, et celui-ci ne lui livre passage que dans la mesure où la pression tend à s'abaisser au dessous de 15 atmosphères dans la canalisation d'huile. Le réservoir d'air peut donc suppléer à une insuffisance temporaire de l'apport des pompes; quand, au contraire, cet apport outrepassa la consommation, l'excédent d'huile s'écoule du récipient par une conduite munie d'une soupape réglée par un flotteur.

Toute l'huile qui fait retour aux bâches se filtre à son entrée dans celles-ci.

#### Réglage de la vitesse.

Chaque groupe moteur est placé, en ce qui concerne son allure, sous le contrôle et les ordres rigoureux d'un régulateur de précision qui en commande le vannage par l'intermédiaire d'un appareil servo-moteur.

Ce dernier, en effet, agit par des leviers sur les extrémités supérieures de deux arbres verticaux qui, à l'aide de deux autres leviers calés sur eux au niveau des deux distributeurs, actionnent les vannages circulaires, sortes de tiroirs à grille, que nous avons décrits plus haut. Le servo-moteur étant de son côté le docile exécuter des volontés du régulateur, il résulte de cette connexion d'organes, que la moindre augmentation de la vitesse rotatoire du groupe provoquée par une diminution de la résistance, détermine une intervention immédiate du vannage dans le sens d'une réduction de la section d'entrée accordée à l'eau; cette atténuation de l'effort moteur rétablit aussitôt l'équilibre dynamique du système sous une nouvelle vitesse de régime qui diffère d'autant moins de la précédente que le régulateur est plus sensible (astatique).

Il n'y a rien de particulier à signaler en ce qui concerne le régulateur proprement dit. Quant au servo-moteur, il est d'un type nouveau qui présente un réel intérêt et dont nous allons chercher à exposer le principe aussi clairement et brièvement que possible (voir fig. 7).

Sur une plaque de fondation commune sont montés, en prolongement les uns des autres, un cylindre à piston différentiel et deux cylindres à simple effet avec pistons à bielle directe. La tige du piston différentiel est réglée à une longueur telle qu'elle occupe exactement l'intervalle qui règne entre les deux

têtes des bielles lorsque les pistons des cylindres à simple effet occupent tous deux leur position extrême du côté du cylindre central; il en résulte que quand cette tige pousse l'un des pistons, elle abandonne nécessairement l'autre, qui demeure immobile.

Les bielles attachées à ces pistons commandent par des articulations deux leviers calés sur les deux arbres verticaux qui actionnent les vannages comme nous venons de le voir. Chacun de ces leviers a son mouvement limité d'un côté par la butée du piston contre le fond du cylindre, de l'autre par une coulisse.

Quand, dans leur position extrême, ces leviers sont parallèles, les vannages sont tous deux ou entièrement ouverts ou entièrement fermés; quand au contraire ils sont convergents, l'une des turbines, celle du bas, est entièrement dévannée et l'autre entièrement vannée. Les deux cylindres à simple effet étant en communication constante avec le réservoir d'huile comprimée à 15 atmosphères dont nous avons fait mention à propos du pivot des turbines, leurs pistons tendent tous deux constamment à appuyer les leviers contre l'extrémité de leurs coulisses respectives; leur action est toujours antagoniste de celle du piston différentiel sur les mêmes leviers.

On conçoit dès lors:

1° que quand le piston différentiel, qui n'est autre chose que le servo-moteur, occupera sa position médiane (comme c'est le cas dans la figure), la turbine inférieure sera toute ouverte et la supérieure toute fermée;

2° que quand ce piston marchera dans un sens, il ne pourra que vanner de plus en plus la turbine inférieure, l'autre demeurant entièrement fermée;

3° que quand il marchera en sens opposé, il ne pourra que dévaner la turbine supérieure, l'autre demeurant entièrement ouverte.

Il suit de là qu'arrivé à l'une des extrémités de sa course, le piston servo-moteur aura déterminé la fermeture complète des deux distributeurs, tandis qu'à l'extrémité opposée il en aura produit la complète ouverture; et que d'autre part le vannage de la turbine inférieure ne pourra commencer à se fermer que lorsque la turbine supérieure aura été entièrement vannée, de même que celui de la turbine supérieure ne pourra commencer à s'ouvrir qu'une fois la turbine inférieure complètement dévannée.

La chute d'hiver étant, comme nous l'avons vu, suffisante pour permettre à la turbine inférieure de développer à elle seule toute la puissance que l'alternateur peut absorber, le régulateur n'est jamais amené, durant les basses eaux, à ouvrir le distributeur de la turbine supérieure; celle-ci se borne donc alors à tourner à vide, entraînée par sa jumelle active. Vient par contre les hautes eaux d'été, la turbine inférieure devenant insuffisante, le régulateur force le distributeur de l'autre à s'ouvrir au fur et à mesure de la diminution de la chute disponible, et ainsi se proportionne incessamment le travail moteur hydraulique au travail résistant électrique, sans variation sensible du nombre de tours du système.

Comment l'influence du régulateur à force centrifuge s'exerce-t-elle sur le piston servo-moteur? C'est le dernier point qu'il nous reste à examiner; nous le ferons sommairement, le dispositif ici appliqué ne présentant rien de bien spécial.

L'espace compris entre les deux pistons du cylindre central est sans cesse occupé par de l'huile en pression puisée à la source que nous connaissons. Le piston différentiel tend donc constamment à se transporter du côté de la plus grande de ses deux surfaces (à droite, dans notre figure). Mais entre le grand piston et le fond du cylindre se trouve un second espace rempli d'huile, la pression de ce fluide pouvant varier, au gré du régulateur, entre celle de l'atmosphère et celle du réservoir à 15 atmosphères. Il suffit pour amener ces variations, que la rotation du régulateur s'accélère ou se ralentisse un peu; immédiatement son manchon soulève ou abaisse un balancier dont l'extrémité actionne un petit organe qui opère la distribution du cylindre servo-moteur. Le manchon monte-t-il, l'huile comprimée par le grand piston s'échappe dans l'atmosphère, le piston différentiel se rapproche du fond de son cylindre et étrangle l'arrivée de l'eau; descend-il au contraire, le piston cède à la pression croissante de l'huile et ouvre le vannage. Dans l'un et l'autre cas, le mouvement du servo-moteur prend fin dès que son distributeur a repris sa position moyenne, à laquelle il est infailliblement ramené (plus ou moins promptement suivant que le manchon du régulateur s'est lui-même déplacé peu ou beaucoup) par l'intermédiaire d'un plan incliné fixé sur la tige du piston différentiel et mobile horizontalement avec ce dernier.

Tel est l'ensemble de mécanismes ingénieux qui constitue le réglage automatique de chacun des groupes moteurs de cette remarquable installation.

Nous ne saurions clore cette étude sans rendre un sincère hommage aux capacités et aux énergies qui ont collaboré à l'œuvre si grandiosement conçue et si activement menée à chef par la ville de Genève. Nos éloges s'adressent indistinctement au président du Conseil administratif de la ville, M. Th. Turretini, et au personnel du service des forces motrices, au constructeur des turbines et de leurs régulateurs, la maison Escher-Wyss et C<sup>ie</sup> à Zurich, à celui des parties métalliques du barrage, M. Schmiedt, à Genève, et à celui des appareils de levage des vannes, la maison Piccard et Pictet, à Genève également.

Bien que les installations électriques de l'usine ne rentrent pas dans le cadre restreint de cette notice, nous associerons aux noms qui précèdent ceux de la Compagnie de l'industrie électrique, à Genève, et de la Fabrique d'Oerlikon, près Zurich.

NOTA. — Les clichés des fig. 1 et 2 ont été mis obligeamment à la disposition du *Bulletin* par M. E. Imer-Schneider, ingénieur-conseil à Genève. Ces figures font partie des illustrations d'une fort intéressante brochure publiée par ses soins à l'occasion de l'Exposition nationale, sous le titre « Notes et Croquis techniques sur Genève. »

Les fig. 3 à 7 sont empruntées à la *Schweizerische Bauzeitung*, tome 28, pages 167-169 (article de M. le prof. Prasil sur « les Turbines à l'Exposition nationale suisse de 1896. »)

## PATHOLOGIE

### DES CONSTRUCTIONS MÉTALLIQUES

par E. ELSKES, Ingénieur des ponts métalliques à la Compagnie des chemins de fer Jura-Simplon.

Nous avons exposé, il y a trois ans<sup>1</sup>, l'histoire d'un assez grand nombre de catastrophes de ponts, histoire suivie de quelques conclusions toutes pratiques et devant elle-même servir de préface à une étude plus théorique, celle de la pathologie des constructions en fer, c'est-à-dire des divers défauts que peuvent avoir les édifices métalliques, défauts innés provenant d'une conception erronée ou d'une fabrication malhabile, défauts dus à l'âge ou à l'usure, ou encore à des circonstances accidentelles.

Avant de passer à cette étude, dont nous n'avons d'ailleurs qu'un premier chapitre à offrir pour le moment, qu'on nous permette de rectifier et d'expliquer certains détails de notre première communication, et de compléter celle-ci par le récit de quelques nouveaux cas de rupture, car on continue — il fallait s'y attendre — à laisser choir des ponts; bien plus, on en force à s'effondrer, pour mieux s'instruire, puisque c'est bien sur certains cadavres qu'on reconnaît le mieux les causes et même les phases de la mort.

Les détails que nous sommes en mesure de fournir sur ces cas récents ont plus de saveur et plus de valeur que ceux de notre premier travail, car ils n'ont pas été recueillis dans les souvenirs parfois hésitants des témoins oculaires, ou, pis encore, des amis de ces témoins, ou compilés dans le silence des bibliothèques; nous les tenons au contraire, pour la plupart, de source authentique et il nous a été donné de prendre part à quelques unes de ces dissections.

D'abord une rectification: elle a trait à un cas de rupture dont notre statistique de 1894 donnait mal la définition: c'est le n<sup>o</sup> 41, l'avant-dernier de notre liste, le pont d'Optoucha, en Russie, nom accompagné d'ailleurs d'un point d'interrogation.

Il s'agit en réalité du pont sur la Khevdá, chemin de fer de Morschansk à Syrran, en Russie, pont effondré en 1875, peu de temps après sa mise en service, et dont les *Annales des ponts et chaussées* de septembre 1894<sup>2</sup> contiennent l'image; c'était un pont de 32 mètres d'ouverture, à tablier ouvert, avec des poutres de près de 4 mètres de haut, insuffisamment raidies à leur partie supérieure. Le passage d'un train de marchandises a fait tomber le tablier sur le pont de montage qui s'y trouvait encore; cette circonstance a évité un plus grand malheur.

Les ingénieurs russes tiennent surtout à constater qu'il n'y a pas eu mort d'homme, ce dont nous leur donnons acte avec plaisir.

Ensuite, une explication: nous avons dit et nous maintenons d'ailleurs ce qui suit:

« On voit qu'une fatalité paraît attachée aux ponts nés de 1871 à 1878, » celui que nous venons de citer s'ajoute à nos preuves. « C'était, il est vrai, l'époque où l'on construisait encore, bien que l'argent vint à manquer, mais c'était aussi et surtout, il faut le reconnaître, la période où s'épanouissaient les méthodes élégantes de la statique graphique et, avec elles, une foi trop

<sup>1</sup> Rupture des ponts métalliques. Bulletin 1894, page 137.

<sup>2</sup> Jasinsky. Recherches sur la flexion des pièces comprimées.

