

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 49 (1923)
Heft: k3

Artikel: Usine hydro-électrique de Fully (Valais, Suisse): la plus haute chute du monde (1650 mètres)
Autor: Chenaud, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-38204>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.11.2024

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

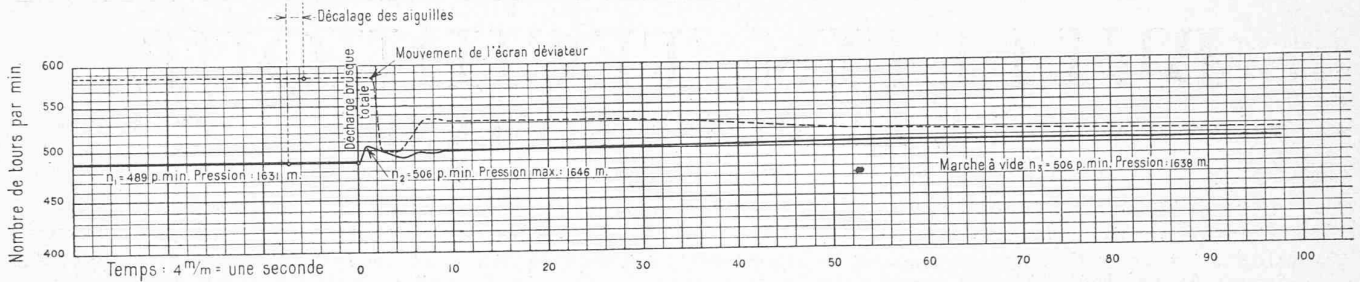


Fig. 42. -- Diagramme de la vitesse pour décharge brusque de 2200 kW.

Ecart max. de vitesse $\Delta s = 506 - 489 = 17$ tours, soit 3,37 %. — Surpression max. = $1646 - 1631 = 15$ m. — Essais du 9 mars 1915 (turbine n° 3).

Usine hydro-électrique de Fully.

(Valais, Suisse.)

La plus haute chute du monde (1650 mètres),

par H. CHENAUD et L. DU BOIS, ingénieurs.

(Suite et fin.)¹

Régulateurs.

Voici les valeurs des PD^2 des parties tournantes d'une turbine et de son alternateur.

Le PD^2 d'une turbine est d'environ 48 000 kgm^2

Le PD^2 d'un alternateur est d'environ 19 000 »

Soit au total un PD^2 de 67 000 kgm^2

Le réglage est double ; il agit lentement sur le pointeau de l'injecteur (40 secondes) et très rapidement sur le déviateur du jet (2 secondes). Les garanties de régularité de marche imposées aux constructeurs sont les suivantes :

Lors d'une décharge totale instantanée et simultanée des quatre turbines marchant à pleine charge, la surpression dans la conduite est inférieure à 5 %.

En cas de décharge instantanée de 50 % 100 %

Les variations de vitesse ne dépasseront pas 3 % 7 %

La vitesse de régime et le statisme (différence de vitesse entre la marche à vide et la marche à pleine charge) peuvent être modifiés à volonté, et pendant la marche, dans les limites de 0 à 6 %. Cette variation de vitesse peut être effectuée à la main au régulateur lui-même, ou à distance depuis le tableau de l'usine au moyen de petits moteurs électriques, ce qui facilite énormément la mise en parallèle des groupes entre eux ainsi qu'avec les unités de l'usine de Martigny-Bourg dont l'usine de Fully constitue la réserve.

Le fonctionnement de ces régulateurs a été tout à fait bon dès le début. Dans le cas de brusques et importantes variations de charge en particulier, le passage de la première vitesse de régime à la seconde se fait très graduellement ainsi qu'on peut s'en rendre compte par le graphique de la fig. 42.

Nous ne donnerons pas le détail du fonctionnement de ces régulateurs qui a déjà été décrit². Les trois images de la fig. 43 peuvent se passer d'explications.

¹ Voir *Bulletin technique* du 20 janvier 1923, page 14.

² Voir *Bulletin technique* 1916, page 1.

La première représente l'état de régime à pleine charge ; l'écran déviateur est tangent au jet ; le balancier 7 s'appuyant sur la butée 9.

La deuxième image fait voir l'écran déviateur 12 dans la position du jet totalement dévié. Mais le pointeau 13 est encore dans sa position d'ouverture maximum, le point 8 n'ayant pas encore bougé grâce à l'action du parallélogramme articulé 6, 8, 12, 10, et au fait que le cylindre 4 du frein à huile entraîné par le piston 3 a parcouru la même course que les pistons 2 et 1 auxquels il est relié. Le balancier 7 s'est donc éloigné de la butée 9.

Dans la troisième image le cylindre 4 du frein à huile, après s'être lentement déplacé de gauche à droite, a relevé l'écran 12 et ramené, grâce à la traction dans la bielle 11, le balancier 7 contre la butée 9, et le pointeau 13 dans sa nouvelle position de régime.

La fig. 44 donne les détails d'exécution de ce régulateur. On remarquera en particulier que la soupape de distribution se trouve placée directement au-dessous du

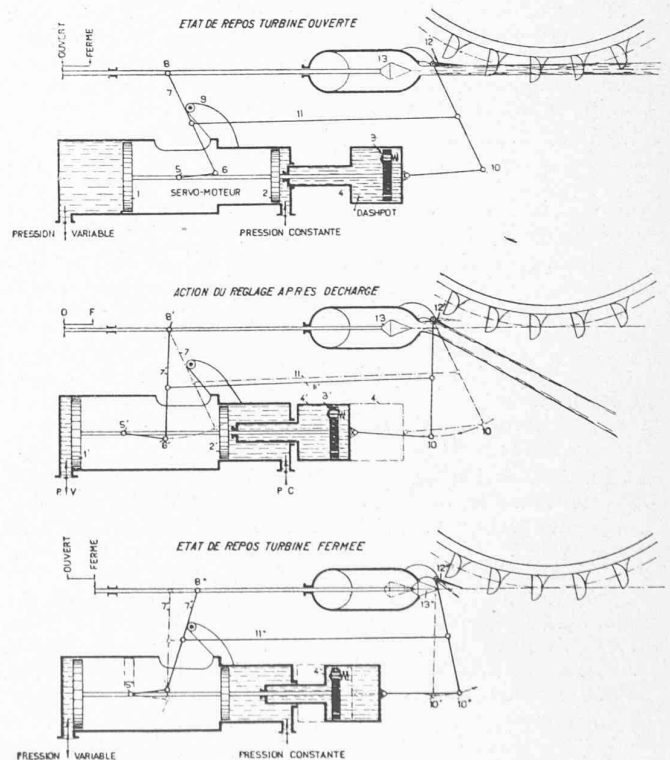


Fig. 43. — Schéma du régulateur à double action de la turbine de Fully.

régulateur à force centrifuge, ce qui évite les organes intermédiaires de transmission.

On remarquera également le dispositif destiné à régler la vitesse de fermeture du pointeau ; l'huile circule à travers une rainure en pas-de-vis dont on peut régler à volonté la longueur. Cette disposition se recommande spécialement dans les cas où, comme à Fully, il est important d'avoir une fermeture très lente (40 à 50 secondes).

La pompe à huile qui alimente le régulateur est montée en bout d'arbre de la turbine (côté opposé à l'alternateur) ainsi qu'on peut le voir sur le dessin de la turbine, fig. 38. C'est une pompe à huit pistons agissant radialement.

La commande du régulateur à force centrifuge est faite au moyen d'un arbre horizontal et de deux paires de roues à dentures hélicoïdales. Le tout est complètement renfermé dans des carters. Il n'y a donc aucune courroie de commande et tout danger d'accident par suite de rupture ou chute de courroie se trouve par là-même écarté.

Partie électrique.

La partie électrique de l'usine de Fully n'offrant rien de bien particulier, nous n'en donnerons qu'une description sommaire accompagnée des documents suivants :

Fig. 45. Alternateur de 2800 KVA.

Fig. 46. Intérieur de l'Usine.

Fig. 47. Vue des tableaux et pupitres.

Le schéma de disposition est très simple : chaque alternateur peut se brancher indifféremment sur trois jeux de barres omnibus desquelles partent trois lignes de transport. Deux de celles-ci se raccordent par l'intermédiaire d'une station de couplage au réseau de l'usine de Martigny-Bourg. La troisième se raccorde à Vouvry au réseau de la Société romande d'électricité, à Territet.

Une quatrième ligne de transport servant exclusivement au service d'exploitation de l'usine distribue l'énergie nécessaire à la marche des funiculaires utilisés pour

le transport des marchandises et du personnel d'exploitation et de surveillance des ouvrages hydrauliques. Elle alimente également la station de pompage à Sorniot. Cette ligne peut se brancher sur deux des systèmes de barres omnibus.

Le transport de l'énergie de Fully se fait à tension com-

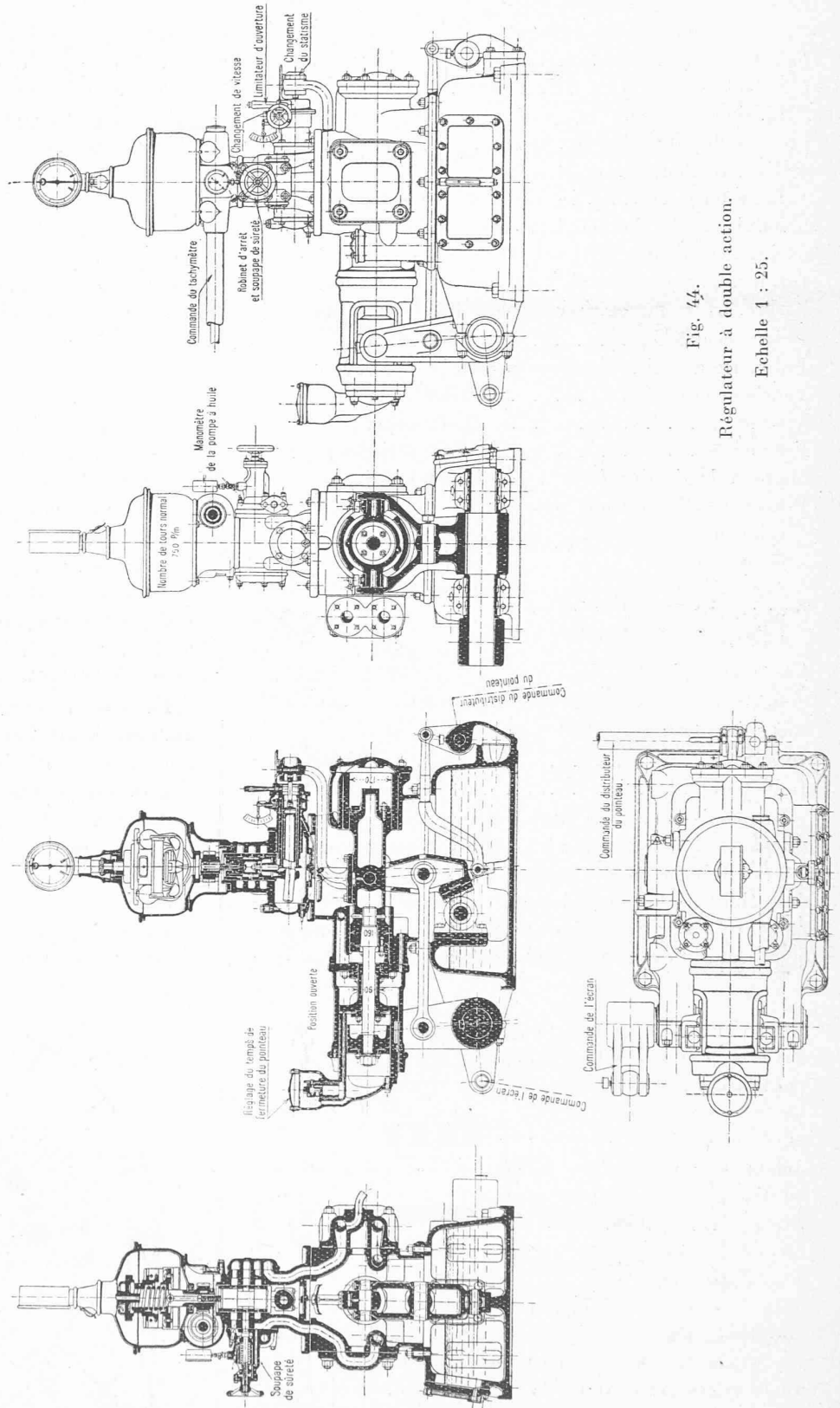


Fig. 44.
Régulateur à double action.
Echelle 1 : 25.

posée de 10 000 volts engendrée directement pour les lignes qui se raccordent à l'usine de Martigny-Bourg, et à 25 000 volts pour celle de Vouvry.

L'usine de Fully est aménagée pour recevoir cinq groupes de 3000 chevaux chacun, dont quatre sont installés actuellement.

Les alternateurs, fig. 45, sont de construction courante, à induit fixe et inducteur tournant, à deux paliers, et excitatrice montée en bout d'arbre. Ils sont reliés aux turbines par un accouplement rigide venu de forge avec l'arbre. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Puissance efficace	2 800 KVA
Puissance absorbée sous $\cos \varphi = 0,75$	3 000 HP
Tension composée	10 000 volts
Vitesse	500 tours par minute
Fréquence	50 périodes par sec.
Moment de giration PD^2	19 000 kgm^2
Puissance d'excitation nécessaire en pleine charge et pour $\cos \varphi = 0,8$	environ 18 kw

Les rendements garantis sont pour $\cos \varphi = 1$ $\cos \varphi = 0,8$	
à pleine charge	95,5 % 94,5 %
à demi-charge	93,0 % 91,5 %
Chute de tension	12 % 25 %

Les enroulements peuvent supporter les tensions d'essais suivantes :

Induit	20 000 volts
Inducteur	500 volts

La partie tournante peut supporter sans danger une vitesse d'emballage de 1,8 fois la vitesse normale.

Les alternateurs sont raccordés aux barres omnibus par des câbles triplex sous plomb et armés de $3 \times 100 \text{ mm}^2$ passant dans les sous-sols de l'usine. Les conducteurs pour le courant d'excitation sont également en câbles sous

plomb et armés, de $2 \times 150 \text{ mm}^2$, pour le courant d'excitation de l'alternateur, et de $2 \times 8 \text{ mm}^2$ pour le courant d'excitation des excitatrices. Ces câbles sont isolés, les premiers pour 10 000 volts (essais à l'usine à 20 000 volts) et les seconds pour 1000 volts (essais à l'usine à 2000 volts),

Tout l'appareillage électrique, haute et basse tension est monté dans des locaux aménagés en bout de la salle des machines. La haute tension est logée dans des cellules de béton disposées en deux étages ; l'étage inférieur abrite les interrupteurs des machines et des lignes de transport, les sectionneurs, les transformateurs de tension et d'intensité servant à la mesure de l'énergie, ainsi que les transformateurs de tension servant à la mise en parallèle des alternateurs. L'étage supérieur ne renferme que des appareils de protection contre les surtensions ainsi que les transformateurs de tension pour le contrôle de la tension des lignes. De larges couloirs de service séparent la haute tension de la basse tension.

L'appareillage et les instruments de mesure à basse tension sont montés sur des tableaux bien distincts. On a choisi la forme de pupitres pour l'appareillage et les instruments de mesure des alternateurs. L'appareillage et les instruments de mesure des lignes de transport se trouvent sur des tableaux de marbre.

La mise en parallèle se fait au moyen de deux transformateurs de tension branchés l'un avant et l'autre après l'interrupteur de l'alternateur. Ils alimentent le dispositif de synchronisation composé d'un voltmètre à deux aiguilles et de deux lampes de phase.

Les interrupteurs des générateurs sont du type courant à huile à réglage du temps et de la charge. Le déclenchement s'opère par l'intermédiaire de relais bipolaires à induction qui, lors de leur fonctionnement, insèrent les bobines des aimants de déclenchement sur le circuit d'une

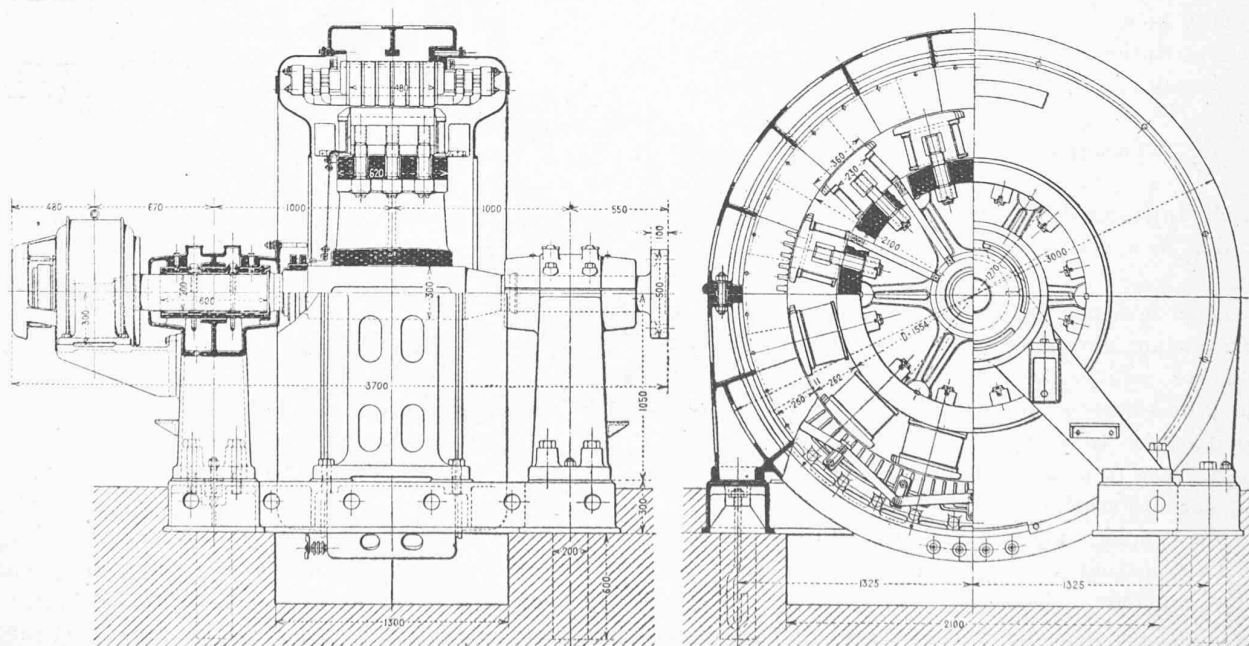


Fig. 45. — Alternateur de 2800 KVA, 500 tours, 10000 volts, 50 périodes. — Echelle 1 : 40.

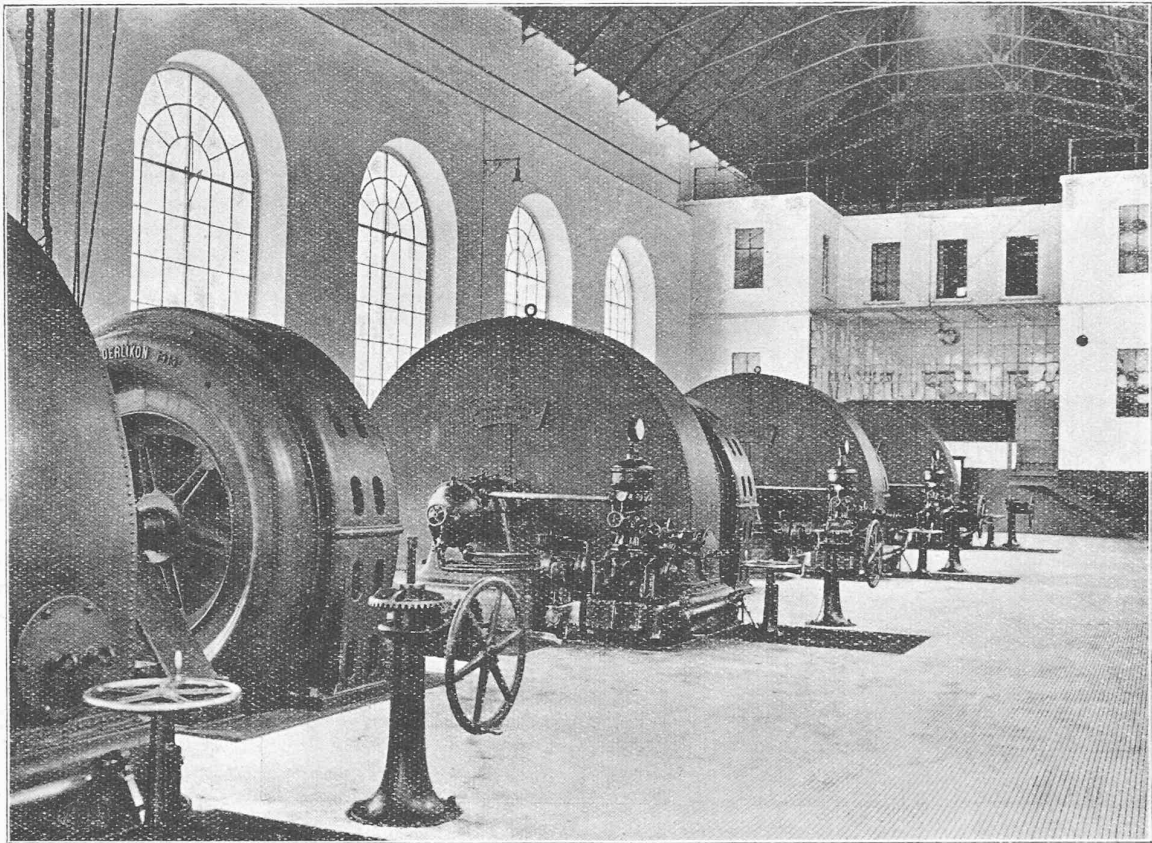


Fig. 46. — Intérieur de l'usine de Fully.

batterie d'accumulateurs. L'enclenchement de ces interrupteurs se fait à la main depuis les pupitres de commande par une tringlerie appropriée.

Les interrupteurs des lignes de transport sont de même construction que ceux des alternateurs, mais de type plus grand. Leur fonctionnement et leur réglage sont identiques à ceux des précédents. Ils n'en diffèrent que par l'adjonction d'aimants d'enclenchement. La manœuvre en est commandée depuis le tableau des lignes par un commutateur.

La ligne de transport de Vouvry porte, en plus des autres, un interrupteur à huile à 25 000 volts verrouillé électriquement avec celui du côté 10 000 volts ; ces deux interrupteurs sont donc solidaires.

Les appareils de protection contre les surtensions d'origine atmosphérique consistent en bobines de self, parafoudres à cornes avec résistances à eau sans circulation, et en résistances hydrauliques bipolaires à jets d'eau. L'eau d'alimentation de celles-ci est prise à un réservoir placé au-dessus du local de l'appareillage de protection. Ce réservoir est alimenté par l'eau de la conduite en pression ramenée de 1650 mètres à 80 mètres par un réducteur de pression spécialement étudié dans ce but.

La station de pompage, qui a déjà été décrite, renferme trois transformateurs monophasés à bain d'huile formant un groupe triphasé de 600 KVA à 10 000/750 volts et 50 périodes. Ces transformateurs alimentent un moteur triphasé à bagues de 600 HP à démarreur adossé

et déclencheur automatique contre courant maximum et tension nulle. Ce moteur est directement accouplé à la pompe centrifuge décrite plus haut.

Bâtiment d'usine.

Le bâtiment d'usine est représenté par les différents dessins de la fig. 31 et par les vues photographiques fig. 48 extérieur, et fig. 46 intérieur. On a cherché à concilier les exigences techniques avec l'esthétique, et à avoir un bâtiment qui n'ait pas trop l'air « usine » et ne jure pas trop avec le paysage environnant. Il suffit de jeter un coup d'œil sur la vue photographique générale, fig. 1 pour constater que l'on y est arrivé d'une manière satisfaisante. Et l'on constatera en même temps que la solution de la conduite enterrée réalise au point de vue de l'esthétique le maximum de ce que l'on peut exiger. Dans nombre d'usines hydro-électriques, en effet, ce sont les conduites sous pression en tôle, peintes le plus souvent en couleurs très voyantes, qui abîment un joli paysage et font, avec quelque raison, pousser les hauts cris aux amis de la belle nature.

L'intérieur de l'usine est très largement dimensionné, aussi bien l'étage de la salle des machines que l'étage inférieur où sont aménagées les tuyauteries. On remarquera que, contrairement à ce qui existe dans la plupart des usines hydro-électriques, l'étage inférieur renfermant les tuyauteries est éclairé naturellement et ne se trouve pas en sous-sol obscur. On peut donc y

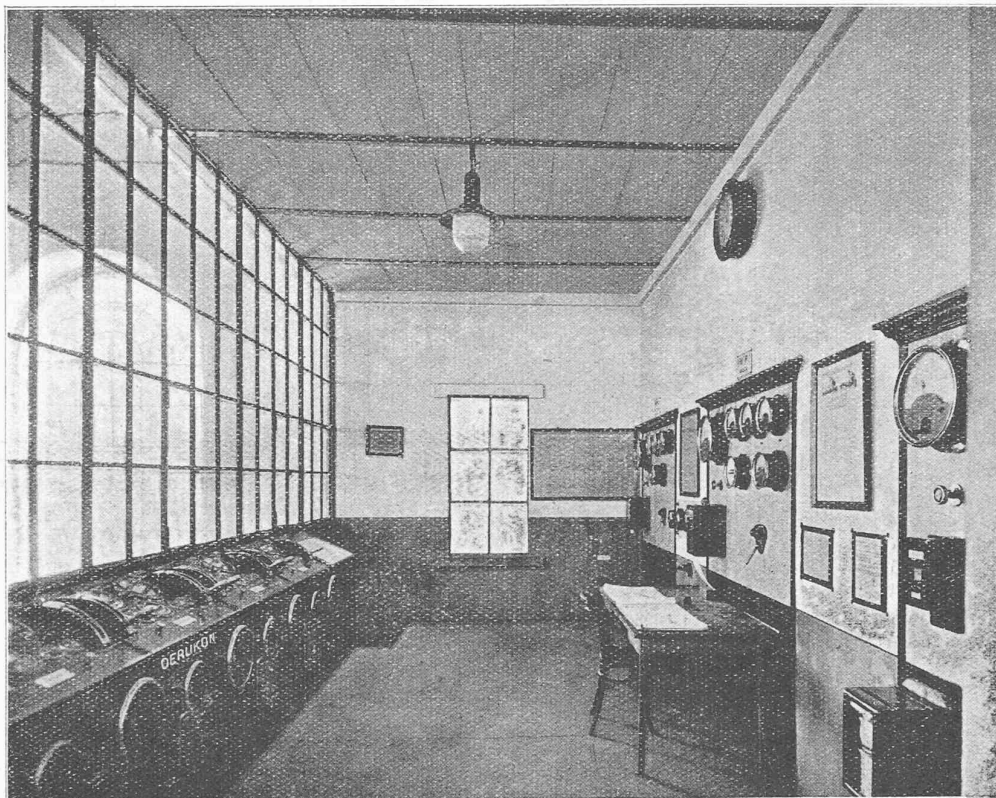


Fig. 47. — Pupitres et tableaux.

circuler et y travailler en plein jour aussi bien que dans la salle des machines elle-même.

Le tuyau collecteur, ainsi que toutes les vannes et les tuyaux montants qui alimentent les turbines, se trouvent à l'étage inférieur. Les injecteurs des turbines eux aussi se trouvent au-dessous du plancher de la salle des machines, de sorte que s'il survenait une rupture à l'une quelconque de ces pièces de tuyauterie, l'eau s'échappant momentanément par la section de rupture ne pourrait en tout cas pas atteindre le matériel électrique et inonder la salle des machines. Il y aurait tout au plus une inondation partielle du collecteur, ce qui n'aurait aucun inconvénient. Les deux extrémités du caniveau dans lequel se trouve le collecteur sont pourvues de tuyaux d'évacuation aboutissant au canal de fuite.

Dans la salle des machines on remarquera que la disposition des groupes est telle que leurs axes se trouvent tous dans le prolongement les uns des autres et coïncident avec l'axe longitudinal du bâtiment. C'est une disposition que l'on rencontre assez rarement dans les usines hydro-électriques. On l'a adoptée par mesure de sécurité en cas de rupture de l'une des roues-turbine. En effet, en cas d'éclatement d'une roue, et avec la disposition habituelle des groupes ayant leurs axes parallèles, si une aube de la turbine, ou un morceau de la roue, vient à se détacher, il peut arriver qu'elle traverse la bêche de la turbine et qu'elle produise un second accident à la turbine voisine qui, à son tour, pourra provoquer une rupture à la turbine suivante et ainsi de suite. C'est un genre d'accident

qui s'est déjà produit dans bien des usines hydroélectriques. Avec la disposition des groupes telle qu'elle est réalisée à l'usine de Fully, un tel accident n'est pas possible.

La salle des machines possède un pont-roulant de 18 tonnes dont tous les mouvements sont commandés à bras. La toiture est supportée par une charpente en fers assemblés et la couverture a été faite au moyen de tuiles spéciales imitant, par leur couleur, les anciennes toitures, ceci dans un but d'esthétique et pour ne pas avoir une toiture trop voyante.

L'eau à la sortie des turbines est recueillie dans une tuyauterie entièrement métallique qui la conduit au canal de fuite proprement dit, constitué par un tuyau en ciment de 0,80 m.

de diamètre intérieur (voir fig. 31).

Cette tuyauterie métallique d'évacuation et d'amortissement est motivée par le fait du réglage par déviation du jet, car il faut considérer qu'au moment où le jet est dévié celui-ci sort de l'injecteur avec une vitesse voisine de 165 mètres à la seconde. Un pareil jet d'eau arrivant contre les parois d'un canal en maçonnerie, avec une telle vitesse, produirait rapidement des dégâts.

Le canal de fuite est terminé par un canal de jaugeage à l'entrée duquel sont interposés des écrans en tôle per-

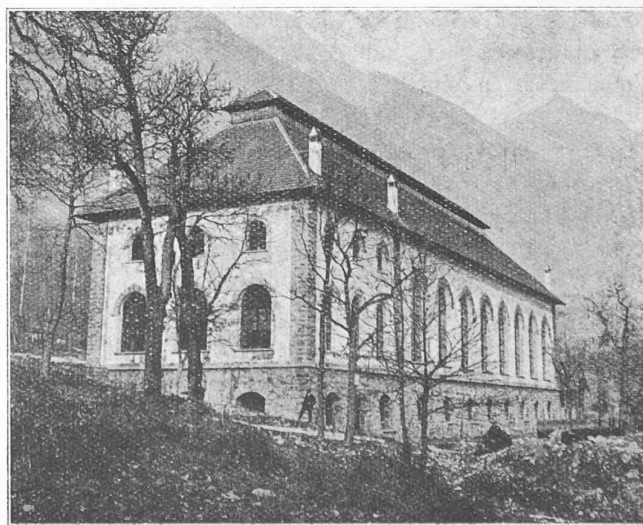


Fig. 48. — Usine hydroélectrique de Fully.

forée destinés à tranquilliser le courant de l'eau et à permettre des lectures précises au déversoir de jauge qui termine le canal. On a établi sur le côté du canal un tube en verre sur lequel se font les lectures du niveau de l'eau, et simultanément les lectures des débits. On a ainsi un contrôle permanent du rendement des turbines, et dès que l'on s'aperçoit que l'une d'elles ne marche plus normalement on enlève son pointeau et l'ajutage de son injecteur, et on remplace ces pièces ou on ne fait que les rafraîchir si les surfaces sont peu attaquées.

Le tableau de distribution et l'appareillage électrique, ainsi qu'un petit atelier d'entretien et de réparations, sont logés dans l'une des extrémités du bâtiment.

Le personnel de l'usine n'est pas logé dans l'usine même, mais dans des maisons voisines, et l'on a construit pour le chef d'usine une petite habitation, style chalet, à proximité immédiate de l'usine.

Exécution des travaux.

Les travaux de l'installation hydro-électrique de Fully ont été commencés en juillet 1912. En octobre 1914, soit un peu plus de deux ans plus tard, on a déjà pu commencer à essayer les turbines et les alternateurs, et la mise en marche régulière a eu lieu dans le courant de 1915. Si l'on tient compte d'une part du temps très limité dont on dispose pour les travaux en haute montagne (juin à novembre environ) et, d'autre part, des difficultés imprévues que l'on a rencontrées à partir d'août 1914 à cause de la guerre, on constatera que ces travaux ont été menés avec une très grande rapidité. C'est grâce à la grande expérience que M. A. Boucher, directeur des travaux, possède dans ce genre d'installations que l'on a pu mener à bonne fin dans un si court délai des travaux aussi importants.

Les ouvrages concernant le génie civil ont été effectués par les entrepreneurs MM. Martin et Baratelli, à Lausanne. Les turbines ont été livrées par la Société anonyme des Ateliers Piccard, Pictet et Co, à Genève; les alternateurs et l'appareillage électrique par les Ateliers de construction Oerlikon; la conduite métallique par la maison Thyssen et Co, à Mülheim. Toute la pose de la conduite, ainsi que l'installation des funiculaires de montage, a été faite en régie sous la direction du bureau A. Boucher.

Les vannes, tuyauteries spéciales, collecteurs, etc., ont été exécutés par les ateliers L. de Roll à Clus, suivant les projets détaillés établis par la direction des travaux. La charpente métallique de la toiture et le pont-roulant de l'usine ont été livrés par les Ateliers de constructions mécaniques de Vevey; les treuils des funiculaires et le câble aérien, installé après coup pour l'accès au Col de Sorniot, par les Ateliers L. de Roll, à Berne; et le matériel roulant par MM. Oehler et Co, à Aarau. Enfin, la station de pompage a été installée par la maison Brown, Boveri et Co, à Baden.

Concours d'idées pour l'établissement d'un plan d'aménagement de quartier entre Lancy et Onex (Genève).

(Suite)¹

N° 1. Gilly. Ce projet fait bien ressortir deux artères principales qui se distinguent nettement des voies de lotissement. L'une partant d'Onex et traversant tout le territoire pour rejoindre la route du Pont Butin est justifiée; elle abandonne malheureusement sur un trop long parcours le chemin actuel d'Onex à Lancy. L'autre désignée comme ligne Arare-Pont Butin a moins de raison d'être; elle serait d'une exécution difficile en dehors du périmètre du concours et ne répond pas à un besoin urgent. Le carrefour de ces deux voies principales est très bien choisi, à l'endroit où la dépression du vallon de la Colline cesse complètement. Les chemins secondaires ne sont pas bien tracés et forment en général un réseau trop compliqué dont les sinuosités ne sont pas imposées par la configuration du terrain. (Voir page 36.)

La répartition des bâtiments sur le terrain n'a pas été l'objet d'une étude très approfondie. A noter cependant l'idée de placer le long de la route Lancy-Onex des bâtiments plus importants. La place de jeu est bien située, mais elle n'est qu'un accident dans la composition du plan. (A suivre.)

Le calcul des conduites métalliques sous pression.

Dans une étude publiée par *Elektrotechnik u. Maschinenbau* (Nos des 12 et 19 novembre 1922), M. A. Hruschka, ingénieur-Conseil au service de l'électrification du Ministère autrichien des transports, se propose, à l'aide des travaux de Karman, Forschheimer, Wagenbach, Buchi, Papadopouli et de ses propres recherches, de réfuter certaines conceptions erronées qui se sont accréditées, et de mettre au point le calcul des conduites forcées.

L'auteur définit comme suit les deux systèmes de conduites que l'on peut adopter :

1° Division du profil en tronçons rectilignes; ancrages aux coudes, et emploi de joints mobiles (à presse-étoupe ou à disques flexibles) le plus souvent placés aux points supérieurs de chaque tronçon. Chaque tronçon rectiligne est donc *mobile dans le sens longitudinal*.

2° Profil composé de tronçons droits et de coudes aussi peu prononcés que possible, et pas de joints de dilatation; ancrages principalement aux deux extrémités, et quelquefois aussi en des points intermédiaires si c'est nécessaire. Les tronçons ne sont pas mobiles comme dans le premier cas; ils sont fixes, et les forces longitudinales sont compensées par l'élasticité des parois et des coudes.

Le mémoire comprend les chapitres suivants : I. Dispositions générales des conduites forcées. — II. Les forces agissant sur les conduites. — III. Essais des conduites sous pression. — IV. Efforts agissant sur les conduites droites soit : Traction et compression, Flexion et Flambage. — V. Efforts aux coudes. — VI. Efforts aux ancrages. — VII. Rédaction des projets de conduites forcées, choix du système de construction et de pose.

Voici la traduction d'une partie de ce dernier chapitre :
« C'est une question oiseuse que de demander lequel des deux systèmes de conduites est préférable. Abstraction faite de cas spéciaux, toute conduite forcée peut appartenir à l'un

¹ Voir *Bulletin technique* du 20 janvier 1923, page 18.