

# Installations d'usines hydro-électriques à hautes chutes

Autor(en): **Neeser, Pierre-H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin technique de la Suisse romande**

Band (Jahr): **79 (1953)**

Heft 11-12

PDF erstellt am: **13.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59780>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

## INSTALLATIONS D'USINES HYDRO-ÉLECTRIQUES A HAUTES CHUTES

par PIERRE-H. NEESER, ing. méc. E. P. U. L.,  
fondé de pouvoir aux Ateliers des Charmilles S. A., à Genève

A l'occasion du centenaire de la fondation de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne, il nous a été demandé d'écrire quelques pages traitant des installations hydrauliques. Or, il a paru ces dernières années divers articles sur cet objet, en sorte que chercher à traiter cette question dans son ensemble serait risquer la répétition. En outre, le domaine est si vaste qu'un exposé qui toucherait même succinctement aux turbines Kaplan, Francis et Pelton sortirait du cadre qui nous a été fixé.

Nous avons donc préféré limiter notre étude à un seul type de turbines : les turbines Pelton, en laissant délibérément de côté les installations à chutes dites « moyennes », pour ne prendre en considération que les « hautes chutes », soit celles supérieures à 1000 m.

Notre choix s'est porté sur cinq installations caractéristiques équipées depuis 1914, ce qui nous permettra d'examiner rapidement l'évolution de la construction de ce genre de machines pendant ces trente-neuf dernières années.

Le tableau ci-contre donne les caractéristiques des centrales en question dans l'ordre chronologique de leur exécution.

Laissant de côté les questions ayant trait aux ouvrages d'amenée : barrage, vannes de prise et galeries, nous nous attacherons plus particulièrement aux turbines et à leurs accessoires.

Année	Centrales	Nombre de groupes	Chute nette (m)	Puissance d'un groupe (ch)	Vitesse (t/min.)	Vitesse spécif. (t/min.)
1914	Fully (Suisse)	4	1600	3 000	500	2,70
1932-	Dixence (Suisse)	5	1740	2 × 25 000	500	7,04
1939		1	1740	8 850	750	6,23
1938	Portillon (France)	1	1304,5	2 × 27 800	500	10,40
1950	Salanfe (Suisse)	3	1441,3	47 500	500	12,25
1953	Reisseck (Autriche)	3	1765,3	33 800	750	12,05

*N. B.* — A part l'équipement de Fully livré par les Ateliers Piccard-Pictet (auxquels les Charmilles ont succédé en 1921) et celui de Portillon, dont les turbines Alsthom-Charmilles ont été réalisées sur dessins Charmilles, les machines citées dans ce tableau ont été livrées ou sont en cours d'exécution par les Ateliers des Charmilles S. A., à Genève.

### 1. Centrale de Fully (Suisse)

La centrale de Fully (fig. 1) a été équipée en 1914 de quatre turbines Pelton, à axe horizontal, développant chacune une puissance de 3000 ch, sous une chute nette de 1600 m et tournant à 500 t/min. L'arbre de la turbine est porté par deux paliers, solidaires du bâti. Il est rigidement accouplé à un alternateur de 2800 kVA, 10 000 volts, 50 pér/sec, comportant également deux paliers. Le groupe turbine-alternateur est donc un groupe à quatre paliers.

La vitesse de rotation, fixée par la construction des alternateurs, a été limitée à 500 t/min, la vitesse synchrone de 750 t/min paraissant trop élevée à l'époque. En outre, par mesure de sécurité, la vitesse d'emballage (750 t/min) a été limitée à 1,5 fois la vitesse normale alors que, pour ce type de turbine, on admet habituellement 1,75 à 1,85 fois la vitesse normale.

Cette limitation a été obtenue en augmentant en conséquence le diamètre tangent de la roue. Bien que cette augmentation de diamètre soit au détriment du rendement, il est intéressant de constater que le rendement maximum obtenu atteignait 80 % et correspondait à la pleine charge. Pour des turbines construites avant 1915, ce résultat fut considéré, à l'époque, comme très favorable.

Parmi les divers éléments de la turbine, celui qui offre le plus d'intérêt au point de

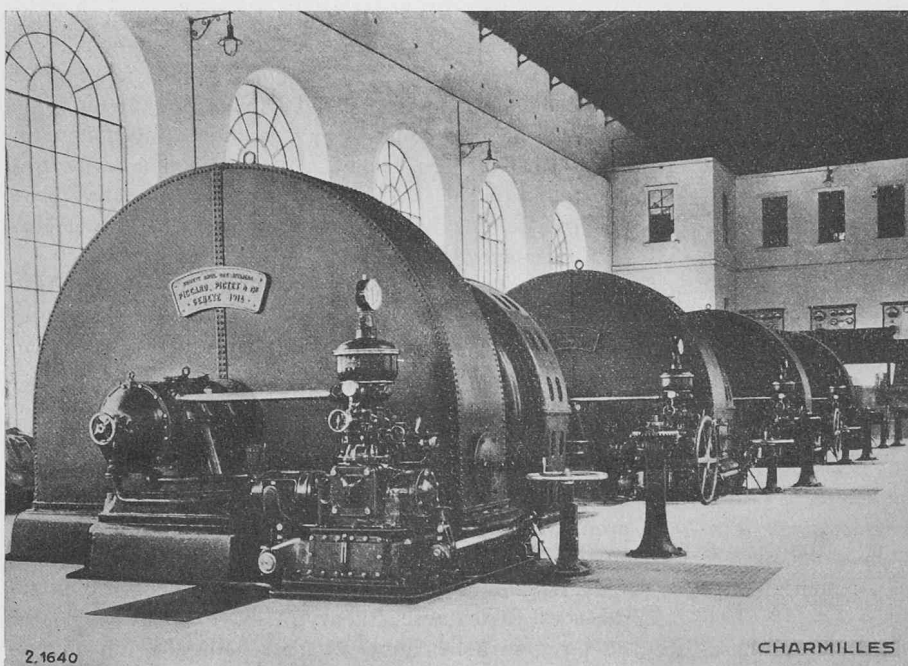


Fig. 1. — Centrale de Fully : 4 groupes de 3000 ch sous 1600 m à 500 t/min.

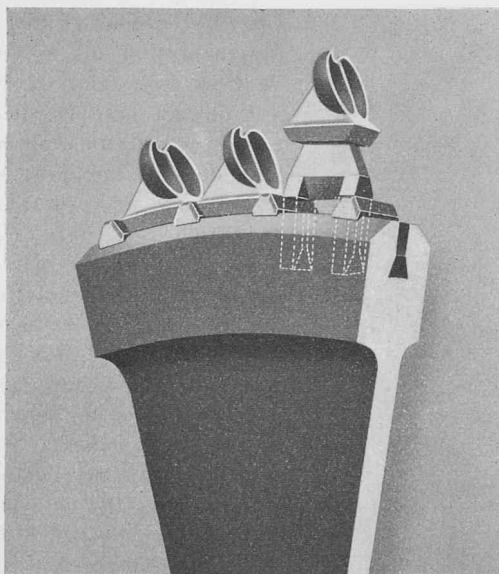


Fig. 2. — Centrale de Fully : Mode de fixation des aubes.

vue constructif est, sans contredit, la roue dont la réalisation sortait de la pratique courante.

Elle est composée d'un disque en acier S. M. forgé, avec un moyeu claveté sur l'arbre de la turbine et une jante comportant une rainure circulaire en forme de queue d'aronde dans laquelle viennent se loger les pieds de cinquante-quatre aubes individuelles en acier S. M. matricé. Afin de donner un serrage initial suffisant pour assurer la rigidité de l'assemblage des aubes à la vitesse d'emballage, le constructeur a prévu entre toutes les aubes des clavettes trapézoïdales placées transversalement au disque, comme le montre la figure 2. La mise en place des aubes et des clavettes a été réalisée de la façon suivante : après avoir ajusté soigneusement les aubes et les clavettes dans leur emplacement respectif, le disque nu a été chauffé progressivement à  $130^{\circ}\text{C}$  ; puis les aubes et les clavettes froides ont été mises rapidement en place sur le disque chaud, cependant que des cales de tôle, d'une épaisseur calibrée et calculée d'avance, ont été glissées sous certaines clavettes afin d'obtenir le serrage désiré une fois l'ensemble disque-aube refroidi. Le poids du disque est d'environ 7100 kg et celui d'une aube de 11,4 kg.

Un mot à propos du réglage de la vitesse du groupe. Le régulateur de vitesse à pression d'huile, du type tachymétrique, donc sensible à la vitesse, agit directement et rapidement sur le déflecteur. Le servo-moteur de commande de ce dernier est combiné à un dash-pot qui, en cas de décharge par exemple, une fois le déflecteur dévié, provoque lentement la fermeture du pointeau jusqu'à ce que, grâce au dispositif d'asservissement, la position du pointeau et du déflecteur corresponde à la nouvelle charge de la turbine.

Le tachymètre est entraîné par la turbine au moyen d'un contre-arbre (nettement visible sur la fig. 1) et de deux paires d'engrenages hélicoïdaux. La pompe à huile du régulateur est une

pompe à huit pistons agissant radialement ; elle est montée en bout d'arbre de la turbine et directement entraînée par lui.

L'eau alimentant les turbines est amenée à la centrale par une seule conduite de 4625 mètres de longueur en deux tronçons de 600 et 500 mm de diamètre, entièrement enterrés, ne comportant aucun massif d'ancrage, ni joint de dilatation. Le collecteur horizontal, de 500 mm de diamètre est rigidement ancré à ses deux extrémités. Il est muni de tubulures de 250 mm de diamètre pour la liaison à chaque turbine. Il ne possède aucun joint de dilatation et supporte donc entièrement les contraintes dues aux variations de température et à la pression.

Les organes d'obturation placés à l'amont du collecteur sont constitués par un robinet-vanne à commande mécanique, suivi d'une vanne à obturateur cylindrique à commande hydraulique ; une vanne analogue à cette dernière, mais à commande mécanique, est montée sur chaque tubulure de liaison aux turbines.

## 2. Centrale de la Dixence S. A. à Chandoline (Suisse)

La centrale de Chandoline (fig. 3) a été équipée entre 1932-1939 de cinq groupes à axe horizontal (fig. 4) comportant chacun deux turbines de 25 000 ch, sous une chute nette de 1740 mètres, la vitesse étant de 500 t/min. Les roues sont montées en porte-à-faux aux extrémités de l'arbre d'un alternateur de

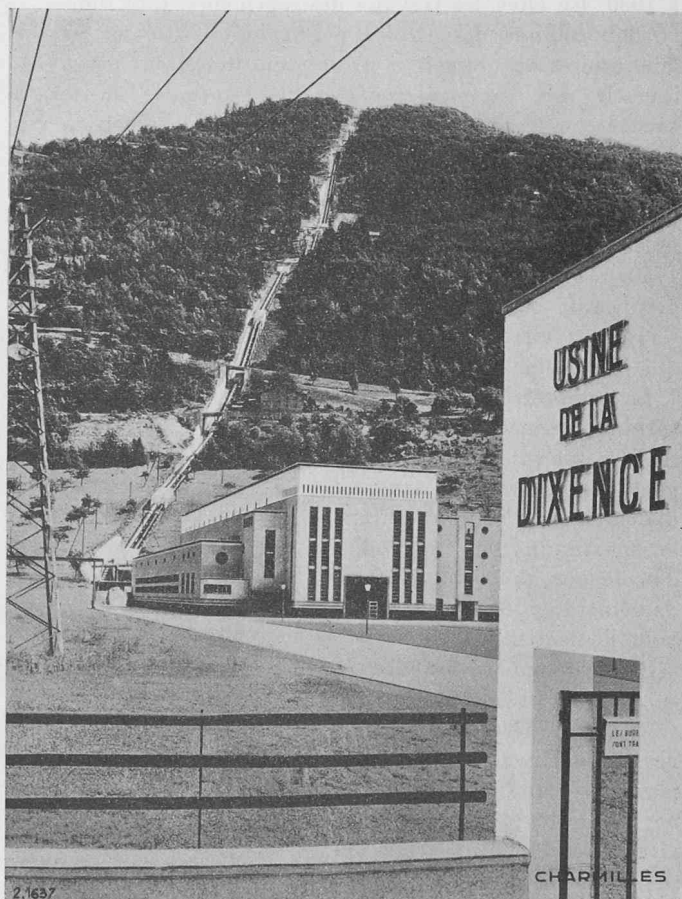


Fig. 3. — Centrale de la Dixence : Vue extérieure.

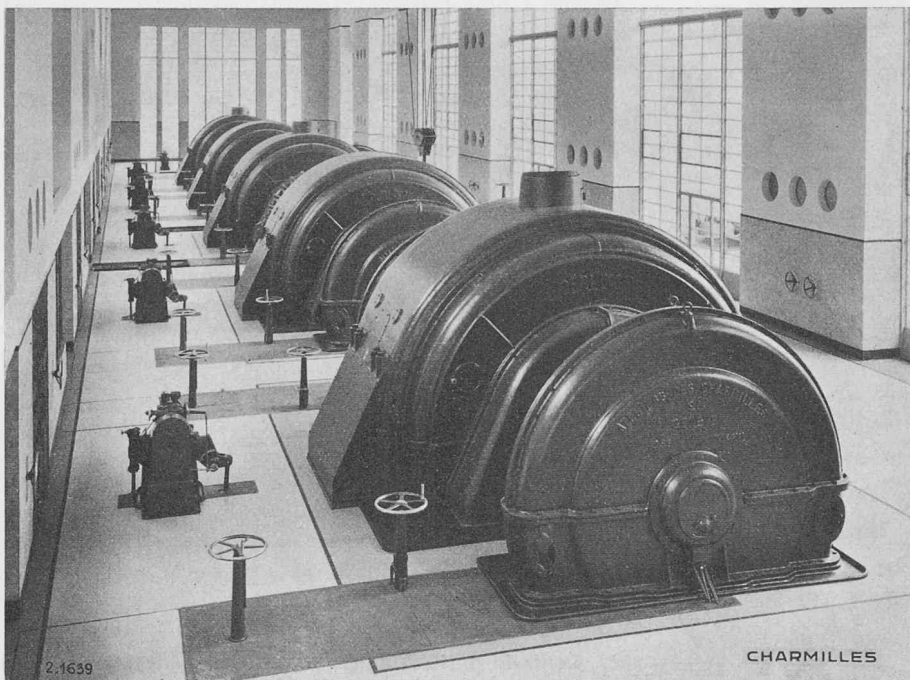


Fig. 4. — Centrale de la Dixence : 5 groupes de  $2 \times 25\,000$  ch sous 1740 m à 500 t/min.

37 500 kVA, 13 000 volts, 50 périodes. Il s'agit donc d'un groupe à deux paliers (fig. 5).

L'énoncé de ces quelques caractéristiques fait toucher du doigt les progrès importants réalisés de 1914 à 1930. En effet, les travaux des ingénieurs, tant dans les laboratoires des Ecoles polytechniques, dans les laboratoires des industries privées qui n'hésitent pas à investir des sommes considérables dans le poste « recherches », que dans les bureaux de construction, ont permis de passer d'une puissance unitaire de 3000 ch (sous 1600 m) à une puissance unitaire de 25 000 ch (sous 1740 m), c'est-à-dire à des groupes de 50 000 ch en conservant la vitesse de 500 t/min qui était celle de Fully.

La suppression des paliers turbine permet en outre de réaliser un groupe plus compact, supprimant les travaux d'alignement d'arbre et offrant le maximum de commodité d'accès aux roues motrices ou de démontage de ces dernières pour l'entretien.

Si l'on compare les vitesses spécifiques ( $n_s$ ) entre elles, on constatera que celle des turbines de la Dixence est 2,6 fois plus élevée que celle des turbines de Fully; encore que la vitesse de 500 tours a été imposée par la construction de l'alternateur. Au point de vue hydraulique, on aurait pu adop-

ter une vitesse de 600 tours (augmentation du  $n_s$  de plus de trois fois celui de Fully).

Enfin, au point de vue constructif, grâce aux progrès réalisés dans la métallurgie, il a été possible de réaliser un assemblage disque-aubes (fig. 6), identique à Fully mais avec des aubes en acier matricé d'un poids unitaire de 95 kg (celles de Fully pesaient 11,5 kg chacune) et un disque en acier forgé de 9200 kg capable de résister aux efforts exercés tant du fait de l'action de l'eau dans les augets que d'une force centrifuge de 150 tonnes par auget à l'emballement (à Fully, 15 tonnes). A noter que la vitesse d'emballement n'a pas été artificiellement réduite, comme ce fut le cas à Fully. Mentionnons à ce propos que les rendements mesurés à Dixence lors des essais de réception, pour des

charges comprises entre 4/10 et la pleine charge sont tous supérieurs à 88 % avec un maximum à 6/10 de charge voisin de 90 %. Ces valeurs, comparées à celles obtenues à Fully (75 à 80 %, de demi-charge à pleine charge) montrent également les progrès réalisés.

Pour les turbines à hautes chutes, la vitesse du jet étant très élevée, il est indispensable de créer des injecteurs permettant un écoulement aussi compact que possible du jet afin de réduire au maximum sa tendance

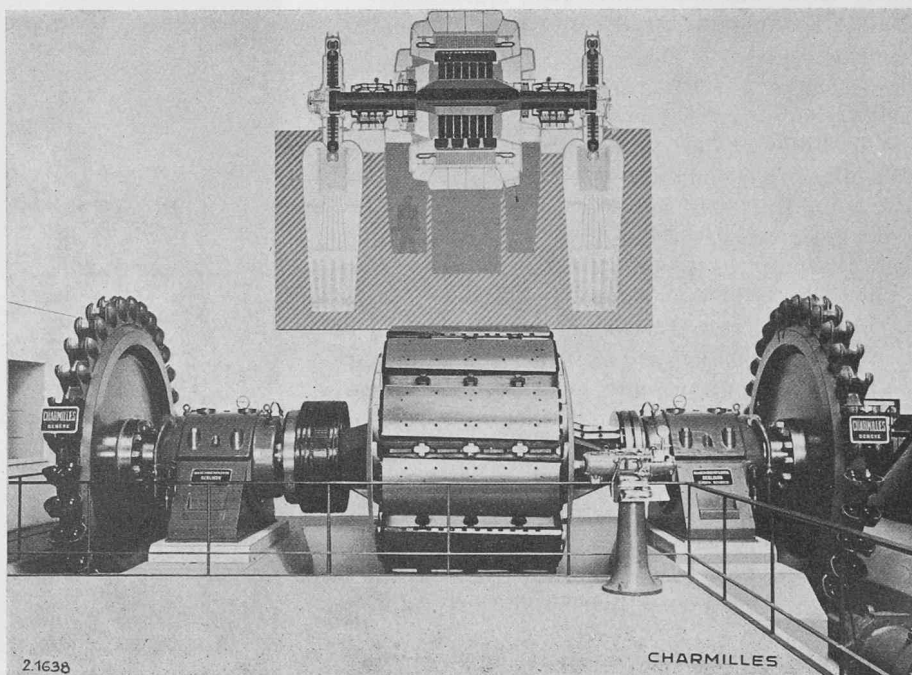


Fig. 5. — Centrale de la Dixence : Rotor d'un groupe présenté à l'Exposition nationale à Zurich, 1939.

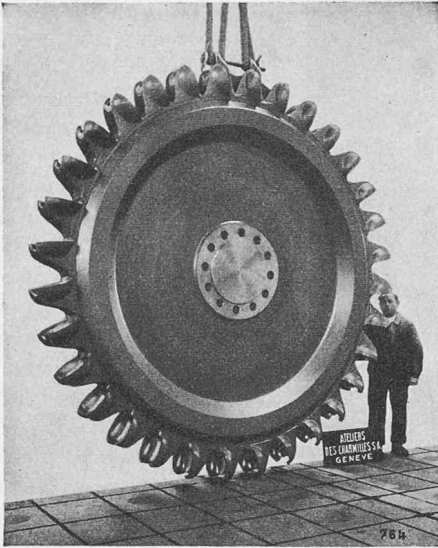


Fig. 6. — Centrale de la Dixence : Roue de 25 000 ch constituée par 32 aubes encastrées dans un disque forgé.

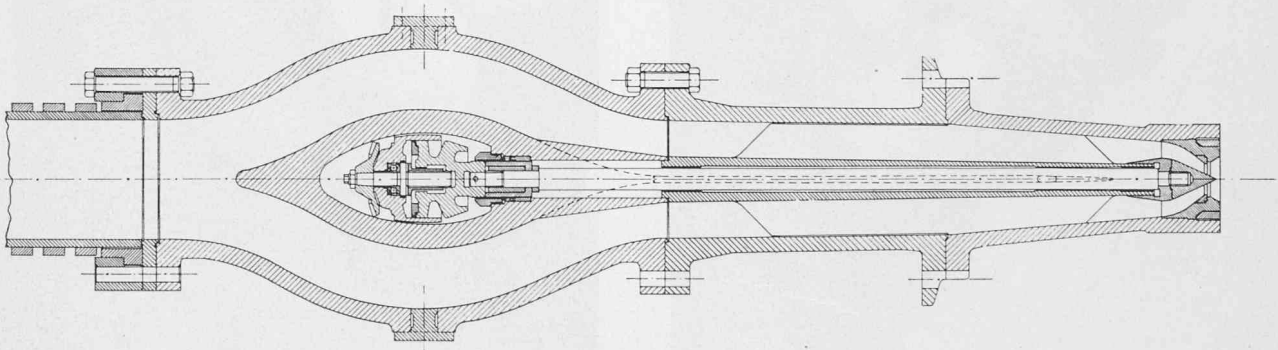
à la dispersion. C'est dans ce but que l'injecteur coudé habituel a été remplacé par un injecteur rectiligne bifurqué (fig. 7 a et 7 b) dont la forme permet de loger à l'intérieur de la fourche le mécanisme de commande du pointeau, qui reste ainsi accessible, tout en réalisant une répartition symétrique des filets liquides ; une partie cylindro-conique avec de longues ailettes de guidage suit la partie bifurquée, accélérant la vitesse de l'eau et permettant ainsi un écoulement favorable à une bonne tenue du jet.

Les deux pointeaux et les deux déflecteurs d'un même groupe sont placés sous la dépendance d'un unique régulateur automatique à pression d'huile. Chacun des servomoteurs des pointeaux est commandé par un distributeur placé sous la dépendance directe du régulateur-pilote. Un dispositif d'asservissement avec came assure la liaison aux servomoteurs des déflecteurs de façon qu'à toutes charges, les déflecteurs affleurent le jet. Tant que les variations de charge sont faibles et lentes, comme cela se présente habituellement en exploitation, seuls les pointeaux entrent en jeu, ainsi

le jet n'est à aucun moment déformé par l'action du déflecteur ; il conserve donc la compacité garantissant le rendement optimum de l'aubage. Par contre, les déflecteurs interviennent immédiatement et dévient rapidement le jet dès qu'une diminution importante et brusque de la charge se manifeste.

Le régulateur est du type accéléro-tachymétrique (fig. 8), c'est-à-dire qu'il n'est plus uniquement sensible à la vitesse (comme c'était le cas à Fully), mais également à l'accélération. Il s'agit là d'un perfectionnement important apporté déjà à la fin de 1922, et dont bénéficient entre autres toutes les centrales hydrauliques équipées par Charmilles, depuis lors. Les deux organes détecteurs, tachymètre et accéléromètre, combinent leur action sur un relais à huile commun qui agit directement, donc sans l'intermédiaire de dash-pot ou d'une tringlerie quelconque, sur le distributeur et les servomoteurs. Il est en outre possible de doser l'effet de l'accéléromètre par rapport à celui du tachymètre suivant les caractéristiques du réglage que l'on désire obtenir. Le dosage accélérométrique est adapté dans chaque cas aux caractéristiques de l'installation de manière à obtenir le fonctionnement optimum du régulateur. Le régulateur est entraîné par un moteur électrique asynchrone triphasé à faible glissement, branché directement aux bornes de l'alternateur par l'intermédiaire d'un transformateur de tension. L'introduction de la commande électrique, qui date de 1926, représente également un perfectionnement ; elle permet de supprimer la transmission par engrenages, disproportionnée à l'effort à transmettre et susceptible de constituer une cause d'irrégularité dans le fonctionnement du régulateur. Elle s'est imposée d'emblée dans le cas de tous les groupes à axe vertical ; puis les avantages qu'elle présente au point de vue du choix de l'emplacement du régulateur, et de la sécurité de marche, font que la commande électrique du régulateur est adoptée dans la presque totalité des installations. Il n'y a que les groupes de faible puissance à axe horizontal qui utilisent l'entraînement du régulateur par courroie.

La pompe à huile, du type à engrenage, est également entraînée par moteur électrique. En cas de manque de courant, il est possible de démarrer les groupes à la main.



2.1643

CHARMILLES

Fig. 7 a. — Centrale de la Dixence : Coupe horizontale d'un injecteur rectiligne bifurqué.

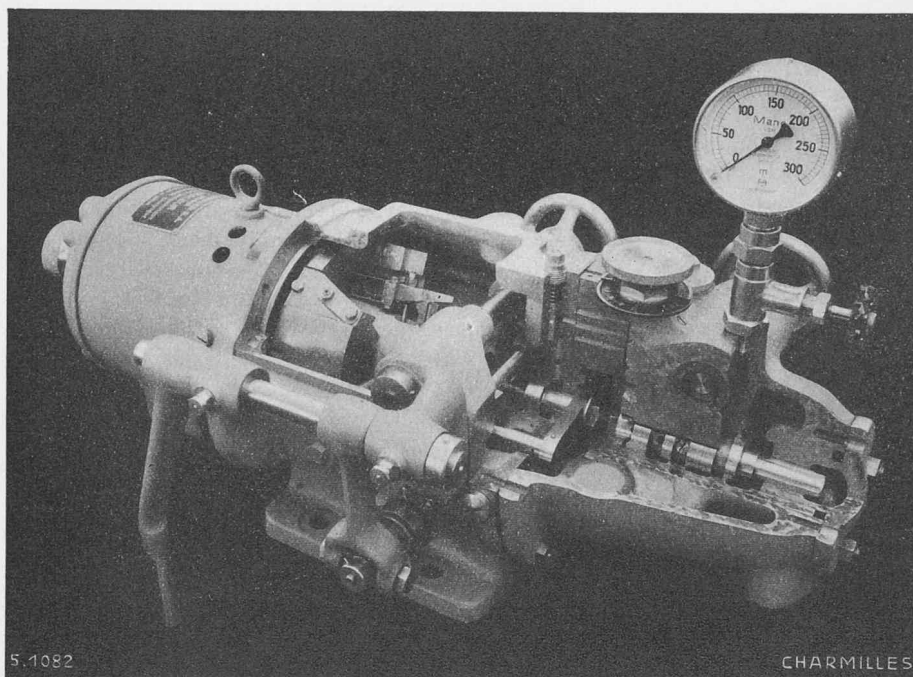


Fig. 8. — Régleur accéléro-tachymétrique Charmilles.

Il nous paraît intéressant de noter encore, au point de vue du réglage, et plus spécialement de l'interconnexion du réseau EOS sur le réseau suisse, que trois des groupes de la centrale de la Dixence ont été équipés en 1945 d'un dispositif de réglage fréquence-puissance qui a fait ses preuves depuis. Ce dispositif étudié par Charmilles en collaboration avec B. B. C. et dont une description détaillée se trouve dans le *Bulletin A. S. E.*, n° 13, du 28 juin 1944, permet de livrer au réseau une tranche d'énergie quelconque, fixée d'avance par un programme, qui reste constante quelles que soient les fluctuations du réseau interne alimenté par la même centrale. Ce dispositif a été installé, après les expériences concluantes de Dixence, sur les groupes des centrales de Kandergrund (BKW) et Piottino (Aar et Tessin); il est sur le point d'être monté sur les deux

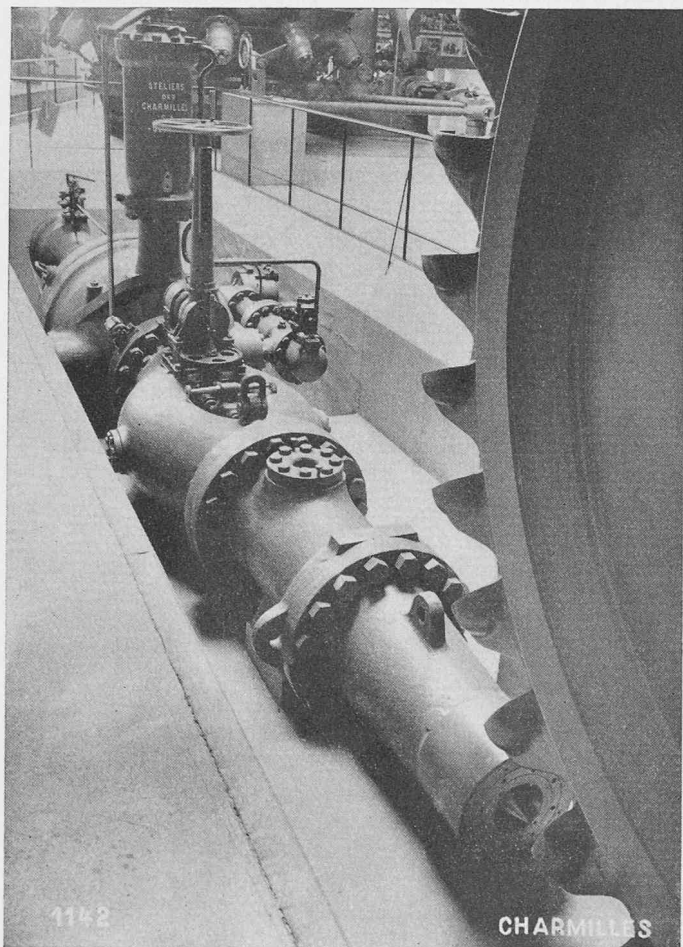


Fig. 7 b. — Centrale de la Dixence: Injecteur rectiligne bifurqué, à l'Exposition nationale à Zurich, 1939.

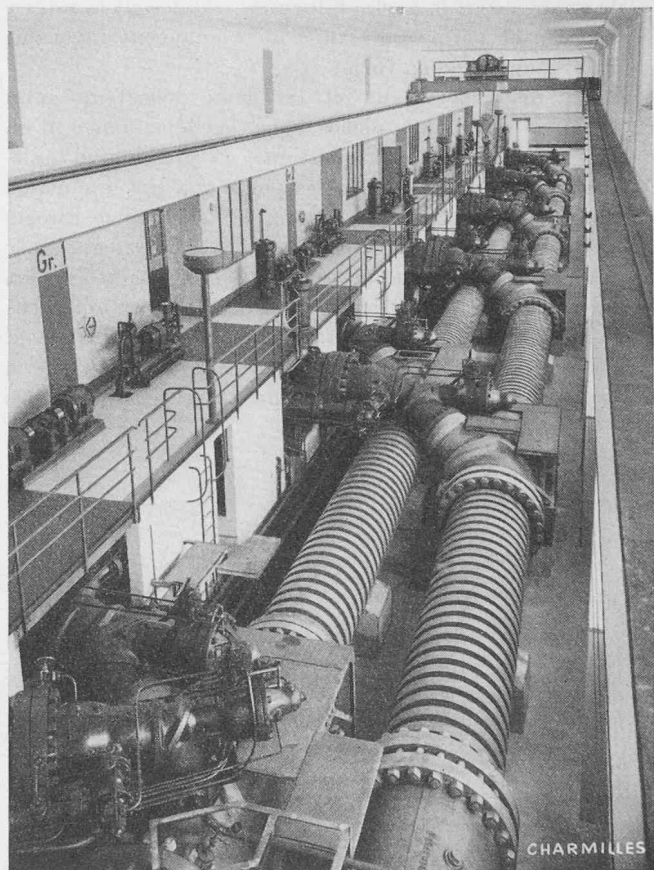


Fig. 9. — Centrale de la Dixence: Vue générale des collecteurs.

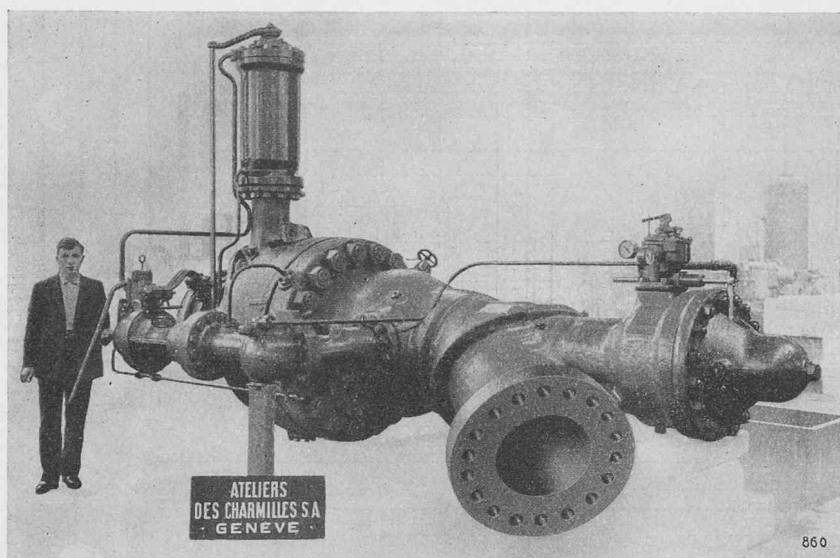


Fig. 10. — Centrale de la Dixence: Vanne autoclave de sécurité et vanne sphérique de service.

groupes triphasés de la centrale de Salanfe; enfin, il est prévu dans d'autres centrales importantes en cours de construction.

L'eau alimentant les turbines est amenée à la centrale par deux conduites forcées, de 5476 mètres de longueur et dont le diamètre intérieur varie de 1420 à 985 mm; les 3885 derniers mètres étant réalisés en tuyaux frettés. Il s'agit de conduites à l'air libre, avec massifs d'ancrage et joints de dilatation.

Les collecteurs (fig. 9) des deux conduites comprennent chacun cinq pièces de dérivation pour la liaison aux injecteurs. L'un d'eux alimente les turbines situées à l'amont des groupes, l'autre les turbines situées à l'aval des groupes. Ainsi, lors de la revision d'une des conduites, les cinq groupes peuvent être utilisés pratiquement à demi-charge, au moyen d'une seule conduite.

Un joint de dilatation est prévu à chaque dérivation afin de répartir les efforts d'ancrage sur l'ensemble du collecteur et de supprimer ainsi les effets des dilatations sur les embranchements.

Les organes d'obturation à l'entrée des turbines (fig. 10) sont constitués par une vanne-coude autoclave de sécurité, commandée par pression d'huile et capable de fermer sous la pleine pression d'eau et par une vanne de service normal, du type sphérique. Cette dernière n'est manœuvrée habituellement qu'après équilibre des pressions amont et aval, au moyen d'un by-pass. Ces vannes sont cependant capables de fermer en eaux vives.

La pression d'huile de manœuvre est normalement fournie par des pompes entraînées par moteurs électriques. Un accumulateur d'huile à contrepoids assure la pression d'huile nécessaire en cas de manque momentané de courant. Si l'interruption se prolonge, une fois l'accumulateur au bas de sa course, la pression d'huile tombe et les vannes autoclaves ferment automatiquement. C'est ce qui s'est produit lors de l'incendie de la centrale au printemps 1951, où les moteurs des pompes à huile ayant brûlé, les dix vannes autoclaves des groupes principaux et celle du groupe auxiliaire ont fermé d'elles-mêmes, évitant que les conduites ne se vident et surtout obligeant les groupes à s'arrêter. On se rend compte que les dégâts auraient pris plus d'ampleur encore si les groupes avaient continué de tourner et la ventilation

des alternateurs d'activer la propagation des flammes.

Un groupe auxiliaire de 8850 ch, à 750 t/min, muni d'une seule turbine accouplée à un alternateur de 7000 kVA complète l'installation de cette centrale.

### 3. Centrale du Portillon (France)

La centrale du Portillon (fig. 11) a été construite en 1938, elle comporte un unique groupe à axe horizontal, de 50 000 kVA, 10 500 volts, tournant à 500 t/min. L'alternateur est entraîné par deux turbines développant 27 800 ch sous une chute de 1304,5 mètres et dont les roues sont montées en porte-à-faux aux extrémités de l'arbre de l'alternateur.

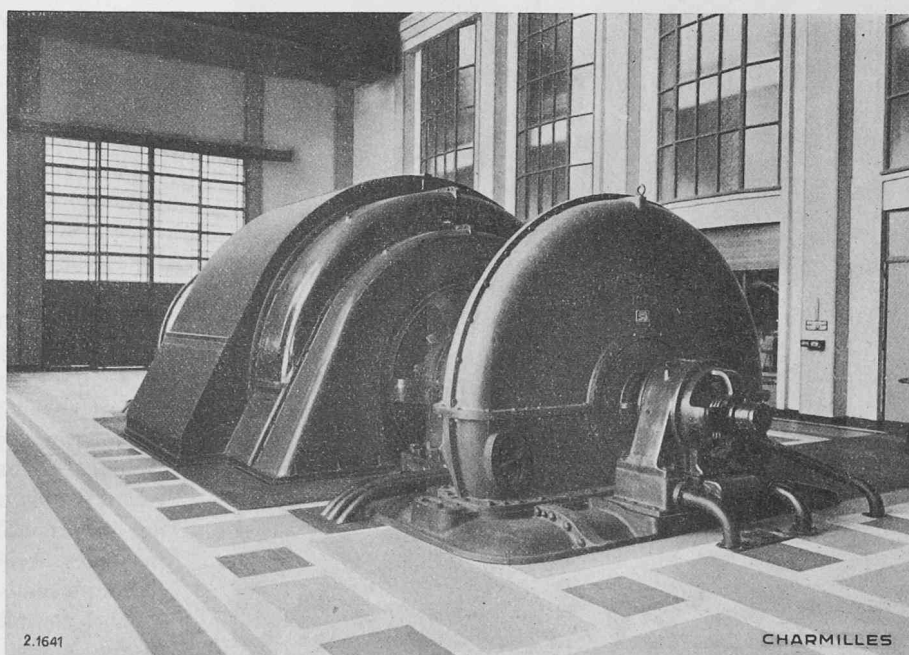


Fig. 11. — Centrale du Portillon: 1 groupe de  $2 \times 27\,800$  ch sous 1304,5 m à 500 t/min.

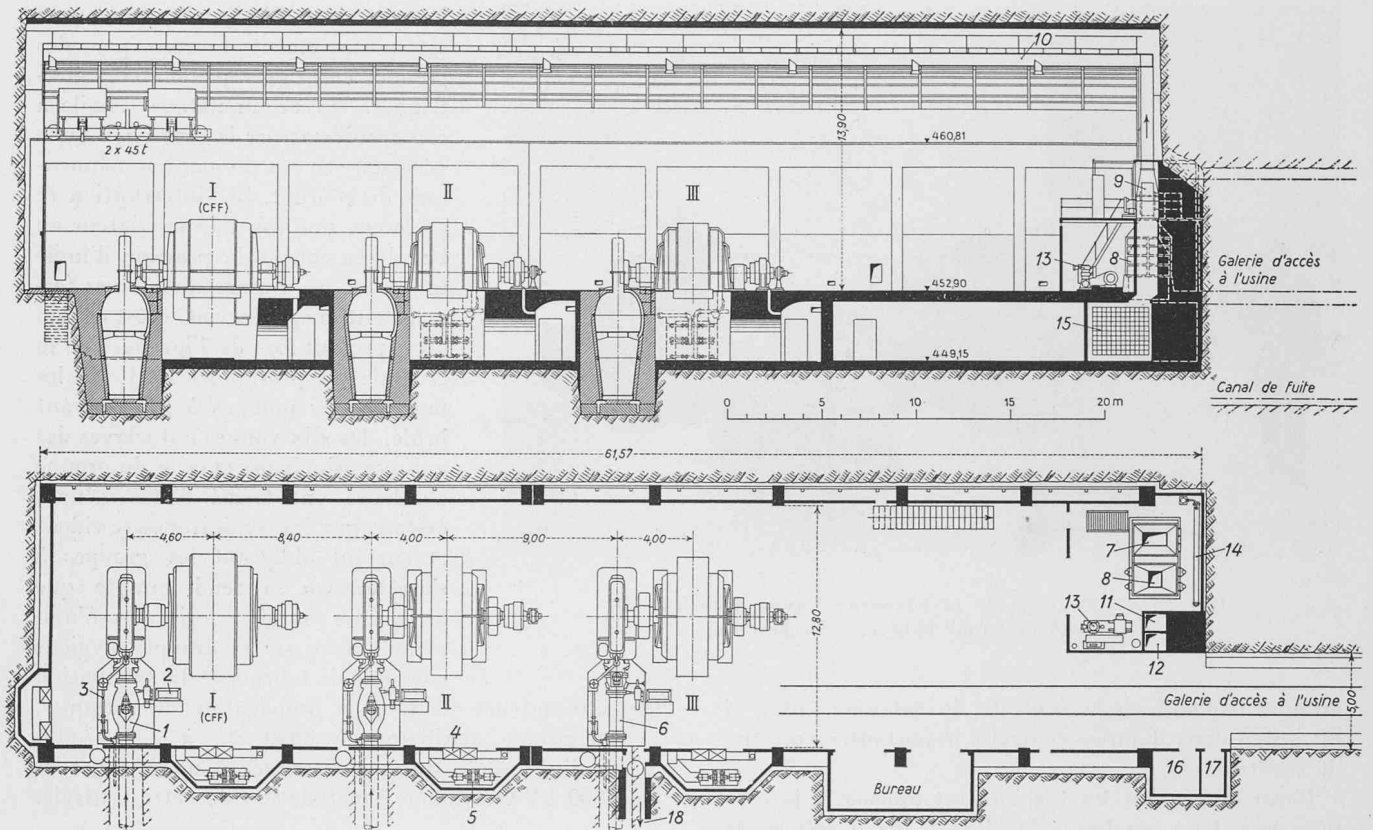


Fig. 12. — Centrale de Salanfe-Miéville : Vue générale ; échelle 1 : 400.

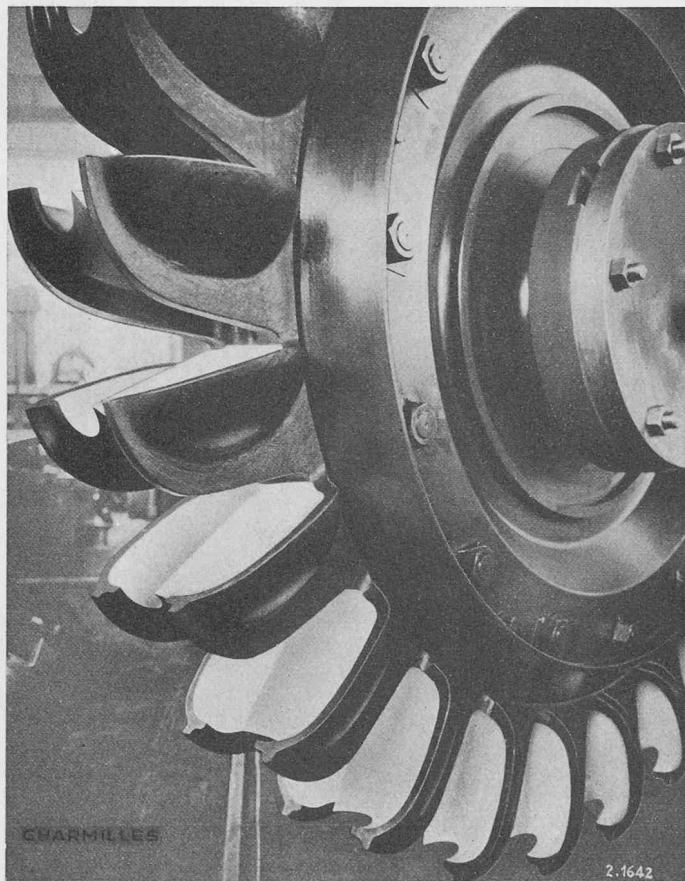


Fig. 13. — Centrale de Salanfe-Miéville : Roue de 47 500 ch constituée par un disque, une couronne de 26 aubes et une éclisse.

Il s'agit d'une disposition analogue à celle des groupes principaux de la centrale de la Dixence. La seule différence réside dans la construction des roues ; elles se composent de trois éléments : un disque forgé de 6600 kg boulonné sur le plateau forgé de l'arbre de l'alternateur, une couronne d'aubes en acier inoxydable, pesant 4500 kg et un anneau-éclisse de 2000 kg dont le serrage donne, par des portées coniques, un effet de freinage de la jante, soulageant cette dernière des efforts auxquels elle est soumise notamment par l'action de la force centrifuge.

La vitesse spécifique est plus élevée qu'à Dixence, elle est en effet de 10,4 contre 7,04. Or, on sait que plus la vitesse spécifique est élevée, plus le rapport du diamètre du jet au diamètre primitif de la roue augmente, en même temps qu'augmente aussi l'encombrement de l'aubage, par rapport aux dimensions générales de la roue et que le nombre d'augets diminue. Ce fait aurait rendu impossible une construction de la roue semblable à celle de Fully ou de Dixence. D'autre part, les aciéries avaient entre temps acquis une expérience telle dans ce genre de coulées difficiles en acier inoxydable (notamment les Aciéries Fischer à Schaffhouse) que l'on a pu réaliser en toute sécurité une couronne d'aubes complète, d'une seule pièce, fixée sur le disque central au moyen d'une éclisse annulaire. Cette solution avec couronne, disque et éclisses est d'ailleurs moins onéreuse que la solution « Fully » à



aubes rapportées, qui nécessite un usinage et surtout un travail d'ajustage individuel plus important; en outre, le montage de la couronne est nettement plus simple que celui des aubes séparées sur le disque. Enfin, si l'on considère le problème des pièces de réserve, on constate que l'usure des augets est pratiquement la même sur tous en sorte que, de toute façon, il faut prévoir, suivant le genre de construction, soit un jeu complet d'aubes de réserve, soit une couronne d'une pièce, l'acquisition de cette dernière étant plus avantageuse que celle d'un jeu d'aubes séparées, sa mise en place plus rapide.

Les autres éléments de la turbine (injecteur, régulateur) sont identiques à ceux de la Dixence.

Signalons toutefois que le moteur du régleur est branché sur une génératrice bimorphique qui alimente d'autre part, en courant continu, les inducteurs de l'excitatric principale. Une génératrice bimorphique est montée à chacune des extrémités du groupe, l'une de ces machines formant réserve.

Le groupe est alimenté par une conduite unique de 2640 m de longueur dont le diamètre varie de 1200 à 850 mm. L'extrémité aval de cette conduite se termine par une pièce de bifurcation de forme sphérique avec deux embranchements de 625 mm de diamètre conduisant l'eau aux injecteurs des deux turbines.

Une vanne-coude autoclave, d'un type identique à celui de Dixence, placée sur chaque embranchement, constitue le seul organe de garde et de protection des turbines.

#### 4. Centrale de Salanfe (Suisse)

La centrale de Salanfe (fig. 12) est une usine souterraine, ce qui montre l'évolution des conceptions de ces ouvrages au point de vue du génie civil. Elle est équipée de trois turbines Pelton de 47 500 ch sous 1441,3 m de chute nette, à 500 t/min, dont deux entraînent chacune un alternateur à axe horizontal de 37 500 kVA triphasé 13 000 volts 50 pér/sec (courant industriel) et la troisième, un alternateur de 22 000 kVA, monophasé, 15 000 volts à  $16 \frac{2}{3}$  pér/sec (courant de traction).

Fig. 15 b.

Centrale de Salanfe-Miéville: Injecteur rectiligne annulaire monté en ateliers.

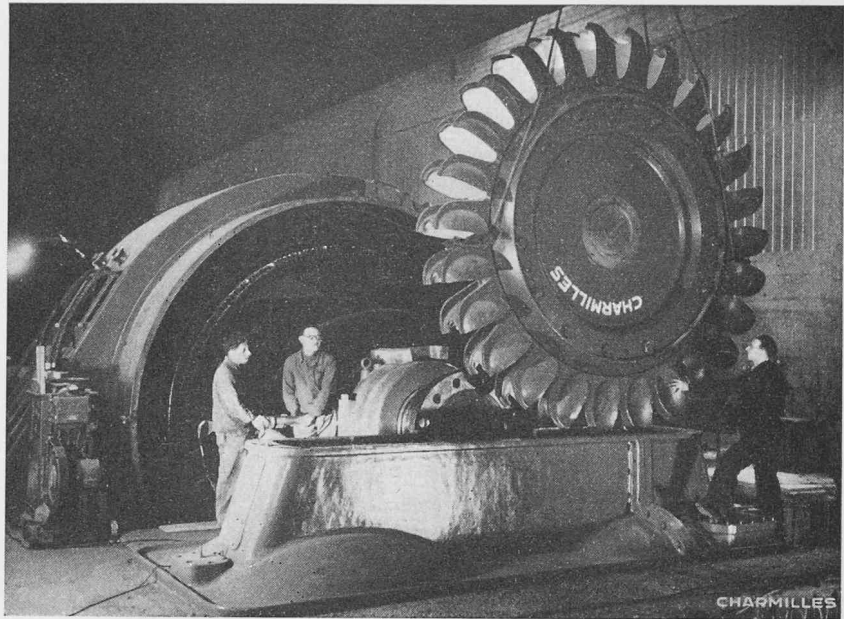


Fig. 14. — Centrale de Salanfe-Miéville: Montage d'une des 3 turbines de 47 500 ch sous 1441,3 m à 500 t/min.

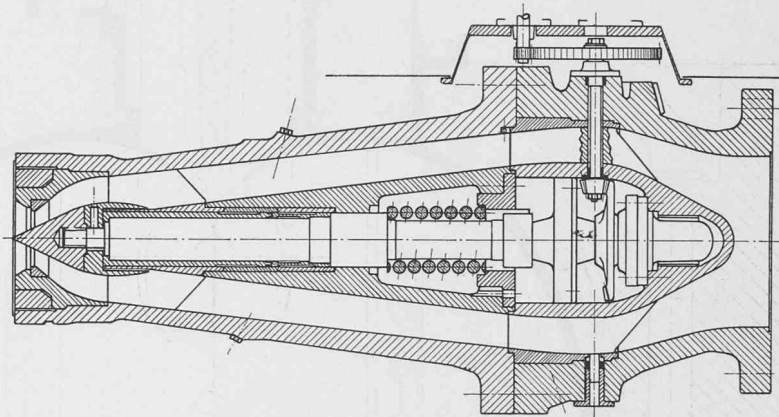


Fig. 15 a. — Centrale de Salanfe-Miéville: Coupe axiale (dans le plan vertical) de l'injecteur rectiligne annulaire.

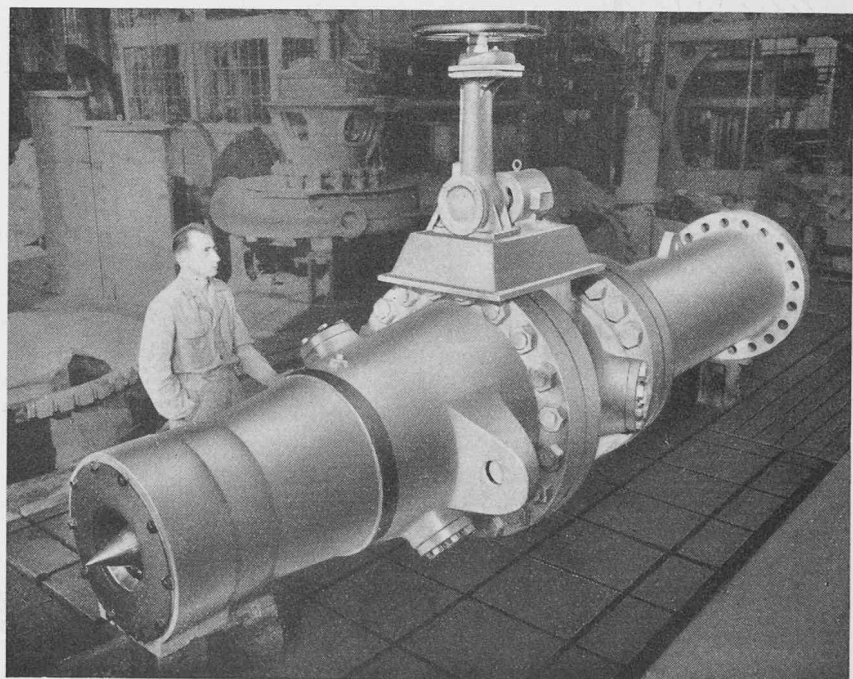
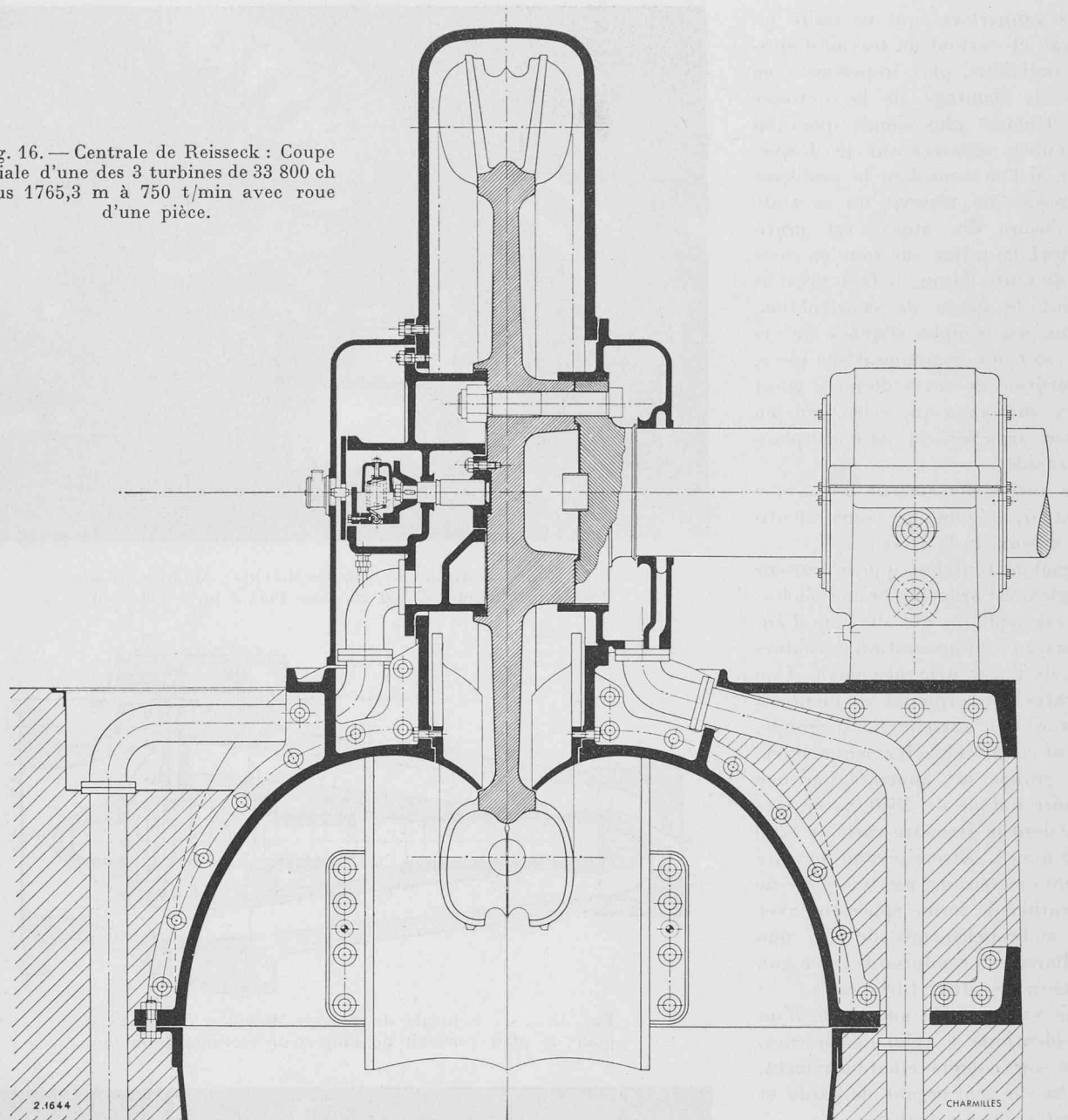


Fig. 16. — Centrale de Reisseck : Coupe axiale d'une des 3 turbines de 33 800 ch sous 1765,3 m à 750 t/min avec roue d'une pièce.



Il s'agit de groupes à deux paliers, mais ne comportant qu'une turbine par groupe. La construction de la roue (fig. 13) est identique à celle de Portillon, mais avec une puissance presque deux fois plus grande. La couronne pèse 6000 kg ; le disque 8400 kg, et l'éclisse 2450 kg (fig. 14).

Nous avons vu que, pour Dixence déjà, avec l'injecteur rectiligne bifurqué, un progrès important a été réalisé. Mais, continuant ses études, le constructeur a créé un injecteur rectiligne annulaire (fig. 15 a), supprimant la bifurcation et pour lequel le mécanisme de commande des pointeaux est logé dans un moyeu central. Au moment où nous rédigeons ces lignes, ce nouveau type assure un service impeccable depuis plus d'un an sur le groupe III de la centrale de Salanfe. Outre les avantages que l'on en attend au point de vue de la compacité du jet, il permet de réduire sensiblement la longueur totale de l'injecteur (fig. 15 b), ce qui se traduira à l'avenir par une réduction toujours

souhaitable de la largeur des centrales dans lesquelles ce type d'injecteur pourra être utilisé.

Les deux autres groupes sont encore équipés d'injecteurs rectilignes bifurqués, type Dixence-Portillon.

Au point de vue de la vitesse spécifique ( $n_s$  12,25), signalons qu'il avait été envisagé des groupes tournant à 600 t/min, soit avec une vitesse spécifique de 14,7, donc deux fois plus élevée qu'à Dixence. Mais, l'un des groupes devant fournir du courant à  $16 \frac{2}{3}$  périodes, la vitesse de 500 t/min a été imposée afin que les trois turbines soient identiques. Les trois groupes sont alimentés par une conduite unique, placée à l'intérieur d'une galerie, avec massifs d'ancrage et joints de dilatation, de 4634 m de longueur dont le diamètre varie de 1300 à 1100 mm. Le collecteur situé à l'aval du dernier bloc d'ancrage de la conduite comprend trois départs de 600 mm de diamètre ; un joint de dilatation est placé entre les deux premiers départs et un dernier massif d'ancrage est situé à l'aval de la deuxième dérivation.

Les organes d'obturation sont constitués par des vannes sphériques à double siège, insérées dans la tubulure de liaison aux injecteurs.

### 5. Centrale de Reisseck (Autriche)

Cette centrale actuellement au début de sa construction sera équipée de trois turbines Pelton de 33 800 ch, sous une chute nette de 1765,3 m, dont deux sont actuellement commandées, entraînant chacune à 750 t/min un alternateur à axe horizontal de 25 000 kVA, triphasé 10 500 volts, 50 pér/sec.

Ce sera la centrale utilisant la plus haute chute du monde, puisqu'elle dépasse de quelque 25 mètres la chute de la Dixence qui détient ce record depuis plus de vingt ans.

Les groupes sont, là également, des groupes à deux paliers, disposés comme ceux de Salanfe, mais avec injecteur bifurqué. En effet, la dimension du diamètre d'entrée de l'injecteur n'est pas suffisante pour permettre la réalisation d'un injecteur rectiligne annulaire.

Pour la construction de la roue, le constructeur avait le choix entre la solution avec couronne d'aubes, disque et éclisse, utilisée à Portillon et Salanfe et la solution avec roue coulée d'une seule pièce (fig. 16). C'est cette dernière qui a prévalu; elle est en effet plus économique même si l'on fait intervenir dans la comparaison le prix d'une roue complète de rechange, alors qu'une couronne d'aubes suffit dans l'autre cas. Cette construction a été possible par le choix de la vitesse de rotation relativement élevée, ce qui réduit les dimensions et donc le poids de la roue, et par les progrès réalisés par les aciéries qui peuvent couler de telles roues, d'une pièce, en acier inoxydable. Les roues de Reisseck pèsent environ 4000 kg.

Les turbines seront alimentées par une conduite unique d'environ 4560 m de longueur et dont le diamètre passe de 1400 à 950 mm. Le collecteur sera semblable à celui de Dixence, mais avec trois dérives au lieu de cinq. Quant aux organes d'obturation, le maître de l'œuvre a examiné attentivement ce problème. Il pouvait en effet hésiter entre une solution avec organe obturateur unique, mais à double siège, par exemple vanne autoclave rectiligne et une solution avec deux organes obturateurs, l'un de service normal manœuvrable dans la règle en eau morte (vanne sphé-

rique), l'autre étant l'organe de sécurité, manœuvrable quelles que soient les circonstances sous la pleine pression (vanne coude autoclave).

C'est finalement cette dernière solution, qui a fait ses preuves depuis plus de vingt ans à Dixence, qui a été retenue.

### Conclusions

Cette rapide description de ces cinq centrales, échelonnées de 1914 à nos jours, montre que, dans le domaine des turbines à très hautes chutes, les progrès réalisés ont permis :

- de passer d'une puissance par roue de 3000 ch à une puissance de près de 50 000 ch (Salanfe-Miéville);
- de passer d'une vitesse spécifique de 2,7 à 7,04 t/min, puis à 12,25, voire 14,7;
- d'abandonner la solution onéreuse d'une roue avec aubes individuelles, en acier matricé, pour la remplacer par la solution avec couronne en acier inoxydable, disque et éclisse; ou avec roue en acier inoxydable coulée d'une pièce lorsque les dimensions le permettent;
- de remplacer l'injecteur coudé par un injecteur bifurqué ou rectiligne annulaire, donc d'améliorer la qualité du jet et, partant, la tenue de l'aubage;
- d'introduire le réglage fréquence-puissance dans des centrales importantes jouant le rôle de « chef d'orchestre ».

En étudiant et en exécutant dans leurs ateliers les turbines Pelton à hautes chutes et leurs accessoires décrits dans les cinq installations susmentionnées, les constructeurs ont ainsi contribué utilement à l'essor des turbines hydrauliques.

Ceci a été possible d'une part grâce à une collaboration intelligente entre exploitants, constructeurs et métallurgistes et d'autre part grâce aux efforts déployés soit dans les bureaux d'études et les laboratoires d'essais, soit dans les ateliers où une main-d'œuvre de plus en plus spécialisée permet maintenant de réaliser des centrales puissantes, offrant des solutions techniques sûres et pratiques bien qu'elles aient pu paraître hardies au moment où elles ont été conçues et réalisées, comme ce fut le cas à Fully en 1914, puis à Dixence en 1932.

## LES LIMITES DE LA PUISSANCE DES ALTERNATEURS ENTRAÎNÉS PAR DES TURBINES HYDRAULIQUES

par JEAN SCHNEIDER, ingénieur E. P. U. L.,  
directeur du Bureau de Lausanne des Ateliers de Construction Oerlikon

Lorsqu'on compare la puissance unitaire des génératrices hydro-électriques du début du siècle à celle des plus grandes machines actuelles, on est frappé par l'accroissement énorme qui va de pair avec celui de la puissance installée. Citons à titre d'exemple l'usine de l'Albula de la ville de Zurich, équipée en 1907 de huit alternateurs horizontaux de 2500 kVA tournant à la

vitesse respectable, pour l'époque, de 600 t/min. Le poids total de ces alternateurs était de 210 tonnes, soit 10,5 kg/kVA et le rendement à pleine charge 92 %. L'usine fut reconstruite en 1945 et dotée de deux groupes verticaux de 14 000 kVA à 500 t/min. Malgré l'augmentation de puissance de 20 000 à 28 000 kVA, le poids total des alternateurs n'est plus que de