Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 77 (1951)
Heft: 25

Artikel: Les turbines Pelton de la centrale de Salanfe-Miéville
Autor: Pingoud, P.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-58171

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: 16.07.2025

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

77e année 15 décembre 1951 N° 25

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous es quinze jours

Abonnements:
Suisse: 1 an, 24 francs
Etranger: 28 francs
Pour sociétaires:
Suisse: 1 an, 20 francs
Etranger: 25 francs
Pour les abonnements s'adresser à:
Administration du « Bulletin technique de la Suisse romande »,
Case postale Riponne 21, Lausanne
Compte de chèques postaux II. 5775, à Lausanne
Prix du numéro: Fr. 1,40

Organe de la Société suisse des ingénieurs et des architectes, des Sociétés vaudoise et genevoise des ingénieurs et des architectes, de l'Association des anciens élèves de l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et des Groupes romands des anciens élèves de l'Ecole polytechnique fédérale.

Comité de patronage — Président: R. Neeser, ingénieur, à Genève; Vice-président: G. Epitaux, architecte, à Lausanne; Secrétaire: J. Calame, ingénieur, à Genève — Membres, Fribourg: MM. P. Joye, professeur; E. Lateltin, architecte — Vaud: MM. F. Chenaux, ingénieur; E. d'Okolski, architecte; A. Paris, ingénieur; Ch, Thévenaz, architecte — Genève: MM. L. Archinard, ingénieur; Cl. Grosgurin, architecte; E. Martin, architecte; V. Rochat, ingénieur — Neuchâtel: MM. J. Béguin, architecte; G. Furter, ingénieur; R. Guye, ingénieur — Valais: MM. J. Dubuis, ingénieur; D. Burgener, architecte.

Rédaction: D. Bonnard, ingénieur. Case postale Chauderon 475, Lausanne.

Conseil d'administration de la Société anonyme du Bulletin Technique: A. Stucky, ingénieur, président; M. Bridel; G. Epitaux, architecte; R. Neeser, ingénieur.

Tarif des annonces
Le millimètre (larg. 47 mm) 20 cts
Réclames: 60 cts le mm (largeur 95 mm)
Rabais pour annonces répétées
Annonces Suisses S.A.
5, Rue Centrale Tél. 22 33 26
Lausanne et succursales

SOMMAIRE: *Les turbines Pelton de la centrale de Salanfe-Miéville*, par P. Pingoud, ingénieur. — Société suisse des ingénieurs et des architectes: *Extrait des procès-verbaux des séances du Comité central des 6. 7. 1951, 31. 8. 1951 et 5. 10. 1951; Extrait du procès-verbal de l'assemblée des délégués du 5. 10. 1951.* — Les Congrès: *Séance de discussion de l'Association suisse des électriciens; 4e Congrès international des fabrications mécaniques.* — Nécrologie: *Jean Boissonnas, ingénieur; Fernand Turrettini, ingénieur.* — Bibliographie. — Service de Placement. — Nouveautés, Informations diverses.

LES TURBINES PELTON DE LA CENTRALE DE SALANFE-MIÉVILLE

par P. PINGOUD, ingénieur, Ateliers des Charmilles S. A., Genève [1]

Sans vouloir dévier du sujet qui nous est imparti, ni revenir à des généralités déjà souvent exposées, nous croyons qu'il est toutefois utile de rappeler brièvement ici certaines notions fondamentales qui nous permettront, d'une part, de justifier par la suite les solutions techniques apportées aux problèmes que cette installation posait au constructeur et, d'autre part, de la situer comparativement à d'autres réalisations.

1. Le nombre de tours spécifique

Chacun sait qu'on classe une turbine hydraulique quelconque par son *nombre de tours spécifique* n_s de tracé, dont nous n'écrirons plus la formule générale, qui est bien connue, pour l'exprimer tout de suite sous la forme particulière qu'elle prend pour une turbine Pelton, après y avoir introduit les deux dimensions les plus caractéristiques de la machine, savoir le diamètre d du plein jet de la tuyère et le diamètre D_t de la roue motrice, mesuré sur son cercle de tangence à l'axe de ce jet. Dans ce cas, on a :

$$n_s = C_1 \, u_1 \frac{d}{D_t} \sqrt{\eta} \qquad (1)$$

où, en sus :

C_1 = constante
u_1 = le coefficient de la vitesse périphérique U_1 du cercle de tangence $(U_1/\sqrt{2g\,H})$
η = le rendement de la turbine

D'une turbine à l'autre, les valeurs de u_1 et de η varient relativement très peu et c'est pourquoi on peut, *grosso modo*, écrire encore :

$$n_s = C_2 \frac{d}{D_t} \qquad (2)$$

où C_2 est une nouvelle constante.

Il en résulte qu'on peut, avec une approximation suffisante, classer les turbines Pelton suivant le rapport du diamètre du jet au diamètre primitif de la roue motrice.

Or, n_s est essentiellement fonction de la chute H; pour mieux dire, c'est sa valeur admissible qui en dépend, valeur qui est dictée avant tout par des considérations d'ordre mécanique, telles que l'espace nécessaire à la fixation des aubes, la fatigue du matériel, etc. Plus la chute H à utiliser est élevée, plus le rapport du diamètre D_t de la roue à celui d du jet doit devenir grand, donc plus la valeur de n_s doit être choisie faible.

Cette conclusion est très importante pour qui veut, indépendamment de toute question relative au tracé, se faire une idée des différences de comportement de roues Pelton accusant des n_s différents. Nous y reviendrons bientôt.

En attendant, signalons que, pour une turbine Pelton, la valeur la plus élevée de n_s qu'on peut raisonnablement atteindre par un seul jet ne dépasse guère 36, et encore n'est-elle

[1] Cet article a paru également au numéro du 27 octobre 1951 de la « Schweizerische Bauzeitung ». (Réd.).

admissible que pour une chute n'atteignant même pas 200 m, chute qui convient donc fort bien à des turbines Francis plus rapides et, par conséquent, plus économiques. La zone de démarcation entre ces deux types de turbines se situe aux alentours de 400 m pour les unités de l'ordre de 60 000 ch.

2. Comportement du jet seul

Il y a déjà longtemps qu'on avait constaté que les jets des turbines Pelton utilisant des chutes élevées et, par conséquent, doués d'une grande vitesse, avaient une tendance nettement marquée à se disperser, phénomène qu'on attribuait bien, pour une part, au degré de turbulence, mais surtout à la résistance superficielle de l'air. Preuve en soit le soin déjà apporté, il y aura tantôt vingt ans, à la conformation des injecteurs des turbines de la Dixence, dont l'un d'eux est visible sur la figure 1. Dans l'ensemble, il était rectiligne afin d'éviter la distorsion de l'écoulement due aux coudes usuels, distorsion qui aurait affecté la structure du jet en y créant des courants secondaires. Dans ce cas exceptionnel, il était à prévoir qu'un jet présentant, de ce fait, moins d'homogénéité pourrait affecter le rendement de l'aubage et même provoquer une usure rapide.

L'injecteur de la Dixence constituait un grand progrès dans la construction des turbines Pelton. Malgré la bifurcation qu'il accusait, à une certaine distance de la tuyère, pour pouvoir y loger le mécanisme de commande du pointeau, il avait déjà le mérite d'être systématique par rapport au plan médian de la roue motrice.

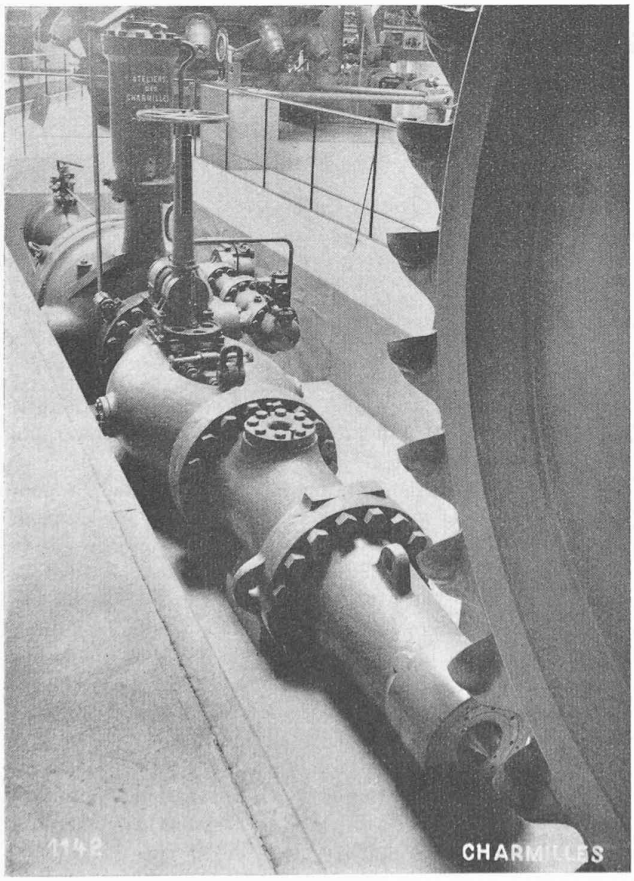

Fig. 1. — L'injecteur bifurqué d'une des turbines de la centrale de Dixence-Chandoline.

Depuis cette époque déjà lointaine, le phénomène de la dispersion du jet a fait l'objet d'une étude détaillée de *P. Oguey*, ancien professeur à l'Ecole polytechnique de Lausanne puisque devenu conseiller d'Etat vaudois, et de ses deux assistants, *M. Mamin* et *F. Baatard*, travail remarquable et de longue haleine auquel il faut rendre hommage, car il aboutit à des conclusions précises et quantitatives, donc d'un intérêt pratique immédiat. Il est avéré maintenant que la dispersion d'un jet dépend, pour reprendre les termes des auteurs, « essentiellement de la turbulence, celle-ci étant fonction de la chute et des organes constitutifs précédant l'orifice de sortie, tandis que l'effet de la résistance de l'air peut être négligé sur le tronçon du jet utilisable par une roue de turbine Pelton, sauf dans une zone limite extérieure de faible débit où les gouttes deviennent suffisamment distinctes pour être freinées »[1]. Le degré de turbulence étant caractérisé par le nombre de Reynolds, la même étude confirme que la dispersion augmente non seulement avec la vitesse du jet, mais aussi avec son diamètre.

3. Un aspect important du comportement du jet dans la roue

La relation simplifiée (2) montre que plus la valeur de n_s est élevée pour une turbine Pelton, plus le rapport du diamètre primitif de la roue à celui du jet s'abaisse. Un simple croquis montrerait que, dans ces conditions, l'angle total α balayé par une aube à l'intérieur du jet qui lui parvient, augmente avec la valeur de n_s. En le mesurant sur le diamètre primitif et dans le plan médian de la roue, on trouve que :

$$\cos \alpha = 1 - \frac{d}{D_t} = 1 - \frac{n_s}{C_z}.$$

Or, aux retouches près voulues par le comportement variable des particules liquides travaillant dans l'aubage, il est clair que ce dernier ne peut être tracé, en somme, que pour une position définie à laquelle correspond son rendement optimum. En d'autres termes, la turbine Pelton est essentiellement une machine à écoulement périodique et ceci explique immédiatement qu'une zone de « faux impacts » plus accusée (α plus grand) doit se traduire par un rendement « moyen » moins favorable.

4. Turbines Pelton à très hautes chutes

Lorsqu'on parle de turbine Pelton à très haute chute, on utilise un terme mal défini, mais qui signifie généralement que celle-ci dépasse 1000 m. Pour les raisons déjà énoncées, le nombre de tours spécifique est alors assez faible. Des trois paragraphes qui précèdent, nous pouvons maintenant tirer des conclusions générales au sujet de ces machines, et qui se résument comme suit :

a) La vitesse du jet étant fort élevée, il est donc indispensable de réaliser des injecteurs spécialement étudiés pour conférer au jet une très bonne structure interne, de façon à réduire la tendance à la dispersion dans toute la mesure du possible.

b) Qui dit haute chute dit grande roue motrice et, par conséquent, nécessité de placer la sortie de l'injecteur à une distance accrue du point de tangence de l'axe du jet au cercle primitif de la roue. Cette conséquence joue en défaveur de la réception, par l'aubage, d'un jet aussi compact que possible, puisqu'on sait que la dispersion augmente au fur et à mesure que le jet s'éloigne de l'embouchure de l'injecteur. Elle plaide

[1] Voir *Bulletin technique de la Suisse romande*, Nos 21 et 22 des 14 et 23 octobre 1944, puis Nos 4 et 5 des 25 février et 10 mars 1951.

donc *a fortiori* en faveur de la construction d'injecteur aux formes et guidages internes particulièrement bien conformés.

L'augmentation du diamètre de la roue signifie aussi un accroissement des pertes par ventilation, question complexe à laquelle nous ne nous attarderons pas ici.

c) En revanche, l'angle α balayé par les aubes dans le jet primitif est sensiblement plus faible dans les turbines Pelton à très haute chute, ce qui compense en partie les deux inconvénients précités.

d) Passant maintenant à une conclusion plus générale, on comprendra que sous l'aspect du meilleur fonctionnement possible, les valeurs extrêmes de n_s sont les moins favorables, mais pour des raisons différentes. L'expérience a effectivement confirmé que la meilleure turbine Pelton accuse un n_s de 16 à 17, soit une valeur à peu près moyenne entre les cas extrêmes réalisés.

Nous pensons que cette longue introduction de caractère général, avant d'aborder la description des turbines de Salanfe-Miéville, aura eu ici sa raison d'être, en posant les données essentielles du problème d'ordre purement hydraulique qu'il convenait de résoudre au mieux dans ce cas particulier. D'ailleurs, la pleine réussite que constituaient antérieurement déjà les turbines de Chandoline de la Dixence S. A., avait valu aux Charmilles de se voir successivement confier l'équipement Pelton des plus hautes chutes utilisées. Ce furent, en collaboration avec la Société Als'Thom, celui de Portillon qui consiste en un groupe de 55 600 ch sous 1304 m de chute, puis celui de Fond de France avec un groupe de 48 200 ch sous 1030 m. Enfin, leurs usines de Genève ont récemment livré deux turbines de 12 650 ch sous 1125 m de chute pour la centrale chilienne de Los Molles, la plus forte dénivellation utilisée dans tout le continent américain.

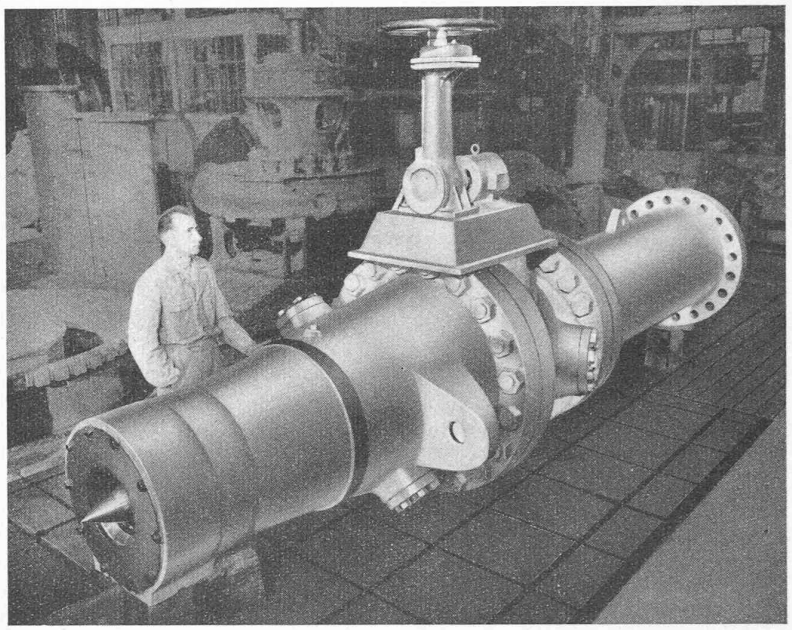

Fig. 2. — L'injecteur rectiligne d'une des turbines de Salanfe-Miéville, concentre exceptionnellement en un seul jet une puissance maximum de 47 800 ch.

5. Caractéristiques des turbines de Salanfe-Miéville

Chacune d'elles est appelée à satisfaire aux conditions de fonctionnement suivantes :

Chute nette	1 321,0	1 348,0	1 447,4 m
Débit	2,67	2,7	2,8 m³/s
Puissance	41 500	43 000	47 800 ch
Vitesse de rotation .	500	500	500 t/min
Vitesse d'emballement			930 t/min

La chute figurant entre les deux extrêmes est celle pour laquelle la turbine doit donner son meilleur rendement moyen en fonction de la charge et correspond à un n_s de tracé égal à 12,7.

Chaque groupe, à axe horizontal, ne comporte que deux paliers, ce qui signifie que la roue Pelton unique est montée en porte-à-faux à l'une des extrémités de l'arbre de l'alternateur. Afin de le rapprocher autant que possible de la roue, le palier côté turbine est supporté par une console venue de fonderie avec le bâti de la turbine. Il est doté d'une butée servant surtout à fixer la position longitudinale de l'arbre, puisque théoriquement la turbine Pelton ne donne pas lieu à une poussée axiale.

La turbine étant alimentée par un seul injecteur, on peut ainsi dire qu'elle est surtout caractérisée par une puissance considérable concentrée en un seul jet. Ce dernier n'est pourtant pas très gros, puisqu'il n'accuse que 148 mm de diamètre à la pleine charge.

Ici nous croyons intéressant de comparer l'une des turbines de Miéville à l'une de celles de la Dixence. La puissance du groupe de Chandoline est un peu plus élevée, mais pour une chute supérieure. C'est dire que dans l'ensemble, le problème posé est analogue. Toutefois, à l'époque de la construction de la Centrale de la Dixence, on avait préféré répartir, pour chaque groupe, le débit sur deux roues motrices montées également en porte-à-faux de part et d'autre de l'alternateur, chacune étant aussi dotée d'un seul injecteur. On conçoit que pour les hautes chutes, il faut renoncer à la disposition comportant deux injecteurs par roue car ce serait, à vitesse spécifique égale, par jet s'entend, multiplier par 2,8 la fréquence des impacts du jet sur l'aubage et abréger d'autant la durabilité de celui-ci. Par ailleurs, en 1932, année où la commande de ces turbines fut passée, les électriciens préféraient limiter à 500 t/min la vitesse de rotation de la génératrice. Il en résulta automatiquement que, pour la construction choisie, la valeur de n_s, pour chaque jet, fut abaissée à 7,2. Sous cet aspect, les turbines de Miéville devront donc accuser un fonctionnement hydraulique encore meilleur.

Du point de vue constructif, les roues de la Dixence diffèrent aussi de celles de Miéville. Elles sont constituées par un disque portant une rainure à sa périphérie, rainure à l'intérieur de laquelle les tenons des augets sont successivement glissés au travers d'une serrure obturée à la fin de l'opération. Ces augets sont bloqués par un effet de frettage obtenu en chauffant le disque avant le dernier assemblage de la roue puis, entre eux, par insertion de clavettes transversales transmettant la force du jet à l'ensemble de leur couronne.

A Miéville, grâce aux progrès accomplis par les aciéries, la roue est constituée par un disque en acier coulé portant à sa périphérie une couronne d'aubes d'une seule pièce de fonderie, en acier moulé inoxydable et serrée contre le disque au moyen d'une frette circulaire en forme d'étrier. Le disque lui-même est conformé de la même façon, les portées de contact étant légèrement coniques. Les boulons fixant la couronne au

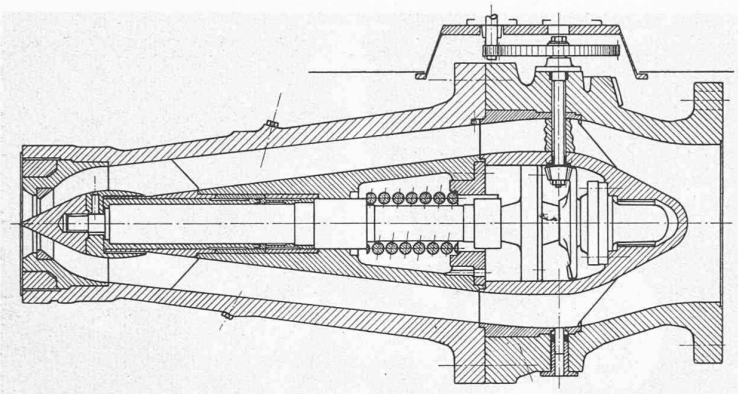

Fig. 3. — Coupe longitudinale de l'injecteur rectiligne, en position d'ouverture totale du pointeau.

travers d'entailles ménagées à la périphérie du disque et à l'intérieur de la couronne d'aubes, provoquent un serrage suffisant à la transmission du couple et ne travaillent pas au cisaillement, mais uniquement à la traction. Le disque et la frette circulaire sont même dimensionnés de manière qu'en cas de rupture fortuite de la couronne d'aubes ils puissent la maintenir en place sans fatigue excessive, ce qui porte au plus haut degré la sécurité d'exploitation. Par précaution supplémentaire, trois clavettes transversales, donc parallèles aux boulons susmentionnés, empêchent le glissement de la couronne par rapport aux frette et contrefrette de serrage. Il ne faut pas oublier que chaque aube est sollicitée par une force due au jet qui peut atteindre jusqu'à 29 tonnes et ceci à raison de vingt-cinq fois en trois secondes. Il est donc indispensable que les pièces constitutives de la roue motrice forment un bloc inébranlablement solidaire. En l'absence momentanée de l'action du jet, l'aube est sollicitée à la traction par la force centrifuge pour passer brusquement, à la cadence qu'on sait, à un état de compression de sa partie dorsale, dû au moment fléchissant créé par la force du jet. On conçoit dès lors toutes les précautions qu'il faut prendre pour éviter un fissurage rapide d'un matériel appelé à supporter d'aussi terribles et fréquentes épreuves.

En sus de ce véritable martelage, l'aubage doit supporter l'action inévitablement érosive d'un jet dont la vitesse absolue, en l'occurrence, peut atteindre 163 m/s. C'est dire toute l'importance d'un bon écoulement à l'intérieur des aubes, afin qu'il ne se produise pas de décollements locaux susceptibles d'engendrer des corrosions. Pour obtenir ce résultat, l'aubage doit être soigneusement conformé, usiné et poli. Ceci suppose que l'aciérie peut livrer une couronne brute de fonderie accusant partout des formes déjà exactes. En outre, le métal doit être exempt de porosités, sinon il encourt le risque d'être rapidement attaqué. Or, souvent, ces porosités ne peuvent pas être décelées après meulage et polissage, cette opération ayant pour effet de « savonner » la surface interne de l'aube. C'est pourquoi il arrive, après quelque temps d'exploitation, que les roues Pelton à très haute chute doivent être réexaminées et rechargées partiellement par soudure, ensuite de quoi elles se comportent parfaitement bien et ne présentent pas d'usures anormales.

Des deux turbines de Miéville actuellement en service, l'une comporte un injecteur bifurqué analogue à celui de la Dixence, que montre la figure 2. La seconde présente, par contre, une nouveauté fort intéressante. Elle est munie d'un injecteur rectiligne dont toutes les parois internes, ailettes de

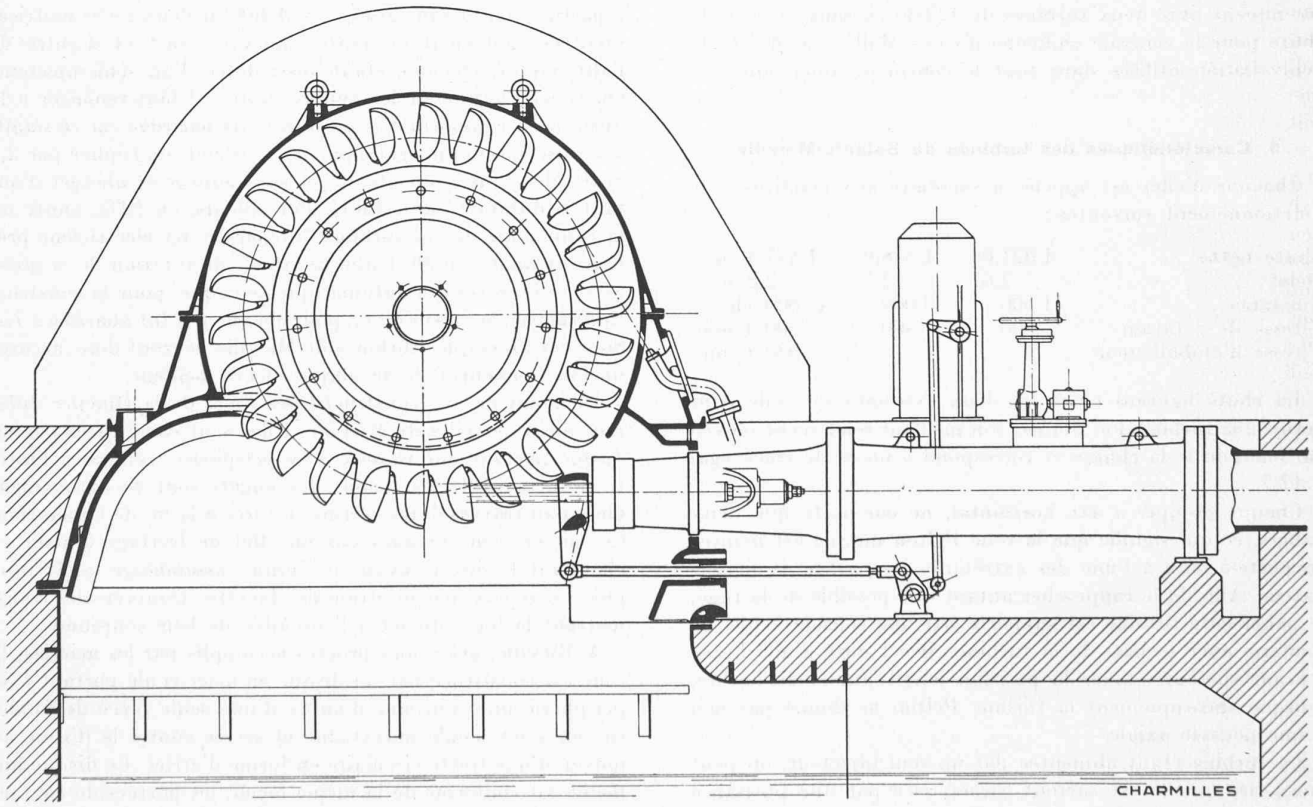

Fig. 4. — Coupe transversale de celle des turbines de Salanfe-Miéville qui possède un injecteur bifurqué.

guidage exceptées, sont des surfaces de révolution. Ainsi cet injecteur est, dans chacune de ses sections, absolument symétrique par rapport à son axe longitudinal, qui est aussi celui du jet.

Pour réaliser cet injecteur, visible sur la figure 3, il fallait donc ménager, à son intérieur, un carénage central pouvant contenir tout le mécanisme de commande du pointeau, dans un espace plutôt restreint. Ceci exigeait d'une part, des joints et manchettes parfaitement étanches à toute intrusion d'eau provenant de l'extérieur, eau qui exerce encore une pression considérable avant que son énergie ne soit entièrement traduite sous forme cinétique.

Il s'agit donc là d'une construction nouvelle, à laquelle le commettant des turbines a fait confiance et il est très intéressant d'avoir pu, dans une même installation, la monter sur l'un des groupes alors que l'autre, comme dit plus haut, comporte un injecteur bifurqué qui a déjà fait ses preuves. Lorsque les deux turbines auront travaillé durant des périodes sensiblement égales, on devra pouvoir constater, comme on l'espère, l'amélioration de la tenue du matériel par la pose d'un organe de distribution éminemment apte à atténuer les causes de la dispersion du jet. Ce nouvel injecteur possède de très longues ailettes de guidage dont il y a lieu d'attendre aussi d'excellents résultats.

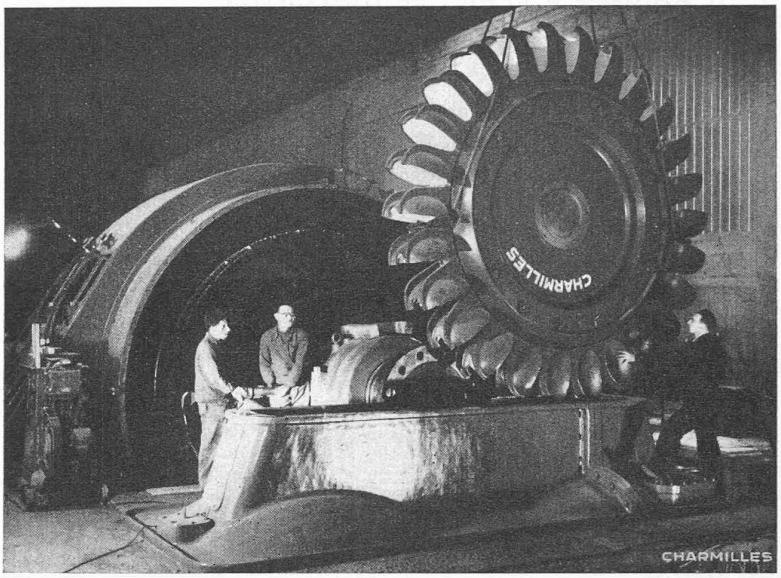

Fig. 5. — Montage d'une roue Pelton dans la centrale souterraine de Salanfe-Miéville.

La construction de celle des turbines qui est munie d'un injecteur bifurqué est visible, en coupe transversale, sur la figure 4. Le jet de la turbine ayant un certain effet d'éjecteur, on a ménagé, au-dessous de l'injecteur, une lucarne assurant l'aération de la fosse.

Le régulateur automatique de vitesse est du type accélérotachymétrique, donc libéré de l'inconvénient dû aux appareils munis d'un asservissement temporaire. En sus de l'asservissement entre les positions de son tiroir de distribution et celles du servomoteur du pointeau, il est prévu un asservissement pointeau-déflecteur, réalisé de telle façon que quelle que soit la charge de la turbine et par conséquent le diamètre du jet, le couperet de l'écran soit toujours tangent à ce dernier et prêt à intervenir avec toute la célérité désirable.

Le circuit de la pression d'huile du régulateur comporte deux pompes dont une, de démarrage et de secours, a son moteur alimenté par les services auxiliaires de la centrale tandis que l'autre, destinée au service normal, a le sien branché sur un petit alternateur-pilote qui sert à l'alimentation du moteur d'entraînement du pendule accéléro-tachymétrique. Enfin, une petite pompe manuelle permet de relever le déflecteur en cas de défaillance des dits services auxiliaires et de permettre ainsi le démarrage, après avoir ouvert le pointeau par le mécanisme manuel — doublé d'un moteur pour la commande à distance — qui est partiellement visible sur la figure 3.

Les dispositifs d'ajustement du régleur, tels que changement de vitesse et limiteur d'ouverture peuvent tous être commandés soit manuellement sur place, soit à distance au moyen de petits moteurs électriques. Toutes les indications relatives aux degrés d'ouverture du déflecteur et du pointeau, à la position du limiteur d'ouverture, à la pression d'huile et à la pression d'eau, ainsi que les boutons-poussoirs de commande à distance sont réunis, en une disposition fort claire, sur un tableau de commande judicieusement conçu. En outre, l'adjonction future du dispositif de réglage fréquence-puissance est déjà prévue.

Ce régulateur est, de plus, muni de différents appareils de sécurité dont nous ne signalerons que les principaux. L'arrêt accidentel du groupe de pompage d'huile provoque automatiquement l'abaissement du déflecteur sous l'action d'un cylindre de sécurité maintenu constamment sous la pression d'eau de la chute, normalement contrecarrée par la pression d'huile, cette dernière étant précisément mise à l'échappement lors de l'intervention des protections. En même temps, le pointeau, bien que construit pour tendre constamment à l'ouverture, obture lentement la tuyère de façon à limiter le coup de bélier dans la conduite forcée à la valeur de la garantie. Le personnel doit alors procéder ensuite à la mise en service du groupe de pompage de secours, afin que l'exploitation puisse reprendre.

En cas d'emballement du groupe, un pendule astatique à masse centrifuge, monté dans un carter spécial et entrainé par l'arbre moteur, provoque l'abaissement rapide du déflecteur et la fermeture lente du pointeau — de la façon que nous venons de décrire — dès que la vitesse de rotation surpasse une certaine valeur convenue d'avance.

Enfin, une défaillance de l'alternateur-pilote, par défaut d'excitation, par exemple, entraînant une baisse de tension aux bornes du moteur d'entraînement du pendule accéléro-tachymétrique, sera détectée par un relais à minimum. Ce dernier possède un contact provoquant la mise sous tension d'un électro-aimant alimenté par les services auxiliaires et qui actionne une soupape de mise à l'échappement de la pompe à huile assumant le réglage, d'où s'ensuit que toujours le même processus de fermeture se produit dans ce cas fortuit, mais ici, toutefois, seulement jusqu'à l'ouverture de marche à vide.

C'est dire que, dans le choix du mode de fonctionnement des dispositifs de sécurité, l'exploitant n'a pas oublié que la sécurité du service allait souvent de pair avec la simplicité des organes destinés à l'assurer.