

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 85 (1959)  
**Heft:** 6

**Artikel:** Quelques considérations sur l'avenir des turbines hydrauliques  
**Autor:** Bortolotti, B.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-64109>

### **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:** 22.01.2025

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

# BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

paraissant tous les 15 jours

## ORGANE OFFICIEL

de la Société suisse des ingénieurs et des architectes  
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (S.V.I.A.)  
de la Section genevoise de la S.I.A.  
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique  
de l'Université de Lausanne)  
et des Groupes romands des anciens élèves de l'E.P.F. (Ecole  
polytechnique fédérale de Zurich)

## COMITÉ DE PATRONAGE

Président: J. Calame, ing. à Genève  
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne  
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève

## Membres:

Fribourg: H. Gicot, ing. ; M. Waeber, arch.  
Genève: C. Bovet, ing. ; Cl. Groscurin, arch. ; E. Martin, arch.  
Neuchâtel: J. Béguin, arch. ; R. Guye, ing.  
Valais: C. de Kalbermatten, ing. ; D. Burgener, arch.  
Vaud: A. Chevalley, ing. ; A. Gardel, ing.  
M. Renaud, ing. ; Ch. Thévenaz, arch.

## CONSEIL D'ADMINISTRATION

de la Société anonyme du « Bulletin technique »  
Président: A. Stucky, ing.  
Membres: M. Bridel ; R. Neesser, ing. ; P. Waltenspühl, arch.  
Adresse: Ch. de Roseneck 6, Lausanne

## RÉDACTION

D. Bonnard, ing.  
Rédaction et Editions de la S. A. du « Bulletin technique »  
Tirés à part, renseignements  
Adresse: Case Chauderon 475, Lausanne

## ABONNEMENTS

1 an . . . . .	Suisse Fr. 26.—	Etranger. . . . .	Fr. 30.—
Sociétaires . . . . .	» » 22.—	» . . . . .	» » 27.—
Prix du numéro . . . . .	» » 1.60		

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande »,  
N° II 57 75, Lausanne.  
Adresser toutes communications concernant abonnement, changements  
d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29,  
Lausanne

## ANNONCES

Tarif des annonces:	
1/1 page . . . . .	Fr. 275.—
1/2 » . . . . .	» 140.—
1/4 » . . . . .	» 70.—
1/8 » . . . . .	» 35.—

Adresse: Annonces Suisses S. A.  
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26. Lausanne et succursales



## SOMMAIRE

Quelques considérations sur l'avenir des turbines hydrauliques, par B. Bortolotti, ingénieur EPF, chef du service de construction du département « Turbines » des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S. A.  
Société genevoise des ingénieurs et des architectes : Rapport de gestion 1958.  
Bibliographie. — Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Nouveautés, informations diverses.

## QUELQUES CONSIDÉRATIONS SUR L'AVENIR DES TURBINES HYDRAULIQUES <sup>1</sup>

par B. BORTOLOTTI, ingénieur EPF, chef du service de construction du département « Turbines »  
des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S. A.

### Considérations générales

A l'époque des satellites artificiels et des premières centrales atomiques, il peut sembler prétentieux de vouloir intéresser le lecteur en présentant un article qui traite du progrès réalisé ces derniers temps dans le cadre des turbines hydrauliques. Pourtant, si le lecteur se reporte à certaines publications parues dans la presse et chez l'éditeur, il ressort d'emblée que le thème traité ici est aujourd'hui d'une grande actualité et que la matière du sujet exposé touche à un domaine si vaste qu'il devrait faire l'objet d'une dissertation de plusieurs centaines de pages.

Nous allons cependant essayer de concrétiser notre pensée en brochant en quelques lignes un tableau général du problème et montrer au lecteur, à l'aide d'exemples concrets, l'évolution des turbines hydrauliques au cours de ces dernières années. Mais avant d'entrer dans le vif du sujet, examinons pourquoi dans la situation présente

du marché mondial le développement des turbines hydrauliques va sans cesse grandissant. Voyons un peu ce qui se passe sur notre planète au point de vue de l'énergie.

Le travail manuel ne fournit aujourd'hui plus que le 1 % de l'énergie totale utilisée dans le monde entier. Il s'ensuit que la quantité consommée par habitant fournit une idée relativement exacte du degré de développement d'un pays. Dans les pays de l'Europe centrale par exemple, il y a actuellement une consommation d'énergie primaire par habitant égale à environ l'équivalent de 3 tonnes de charbon.

La situation énergétique des différents pays de l'Europe occidentale est très diverse. Certaines régions, comme les pays du Benelux, sont pratiquement privées de ressources hydro-électriques.

Dans d'autres pays, comme le Royaume-Uni, le potentiel hydro-électrique est également très limité. Par contre, il est intéressant pour nous de constater que certains pays riches en ressources hydrauliques ne les ont à l'heure actuelle exploitées que dans une faible

<sup>1</sup> Adaptation d'un article paru dans le *Bulletin technique Vevey* n° 1, au mois de juin 1958.

mesure. Les pays comme l'Autriche, la Suède, la Norvège, le Portugal, l'Islande et la Yougoslavie possèdent des ressources considérables d'énergie hydraulique dont 80-70 % sont encore inexploitées. L'important équipement hydro-électrique français ne représente que le 40 % de l'ensemble du potentiel d'énergie hydraulique disponible. Dans la République fédérale allemande, en matière d'électricité, la moitié de l'équipement hydraulique potentiel est déjà en place. La Suisse et l'Italie sont les deux pays les plus avancés à ce point de vue. Plus de 60 % du potentiel hydraulique est déjà utilisé à l'heure actuelle. On estime que le plafond sera atteint dans quelques décennies.

Les quelques statistiques citées ci-dessus indiquent clairement que pour l'Europe occidentale, les ressources hydro-électriques non exploitées sont encore nombreuses. Si l'on se place sur le plan mondial, nous constatons que l'énergie hydraulique ne satisfait aujourd'hui que le 6 % des besoins énergétiques totaux, alors que l'on estime qu'elle pourrait atteindre un taux bien supérieur, si toutefois les ressources pouvaient être intégralement et rationnellement exploitées (fig. 1).

Or, la balance énergétique de presque tous les pays d'Europe occidentale est déficitaire. Il importe donc que chaque pays réduise ce déficit dans la mesure où les ressources d'énergie naturelle le permettent.

Un autre facteur intéressant qui donne au développement de l'énergie électrique toute sa signification et toute son importance est qu'il existe des ressources appréciables d'énergie hydraulique à bas prix de revient. L'équipement de ces dernières permet à des

industries fabriquant des produits de haute qualité exigeant d'importantes quantités d'électricité, comme l'industrie électro-chimique, de s'implanter dans leur voisinage et de donner ainsi à certaines régions un grand essor économique.

En résumé, dans certaines conditions particulières, l'énergie hydro-électrique peut contribuer, dans une mesure certes plus modeste que le charbon et le pétrole, à combler l'écart entre la production et la consommation d'énergie. Quand les conditions sont favorables, l'énergie hydraulique est une ressource qui fournit l'électricité à meilleur compte que l'énergie thermique. Il est donc souhaitable d'accélérer l'aménagement de ces réserves potentielles et il en existe, comme nous venons de voir, d'appréciables quantités dans le monde entier.

Le développement des turbines hydrauliques n'est donc pas près de s'arrêter. Les progrès réalisés ces dernières années dans leur construction sont énormes et notre pays participe dans une large mesure à la réalisation de nouvelles centrales. Grâce au grand développement pris par les entreprises spécialisées dans la construction de turbines hydrauliques, la Suisse reste à l'avant-garde du progrès dans ce domaine, quel qu'en soit le type : Kaplan, Francis ou Pelton, ainsi que dans le domaine de la régulation et des installations annexes.

#### Considération de base

Si les notions de stabilité et de sensibilité dans le réglage d'une machine sont étroitement liées l'une à

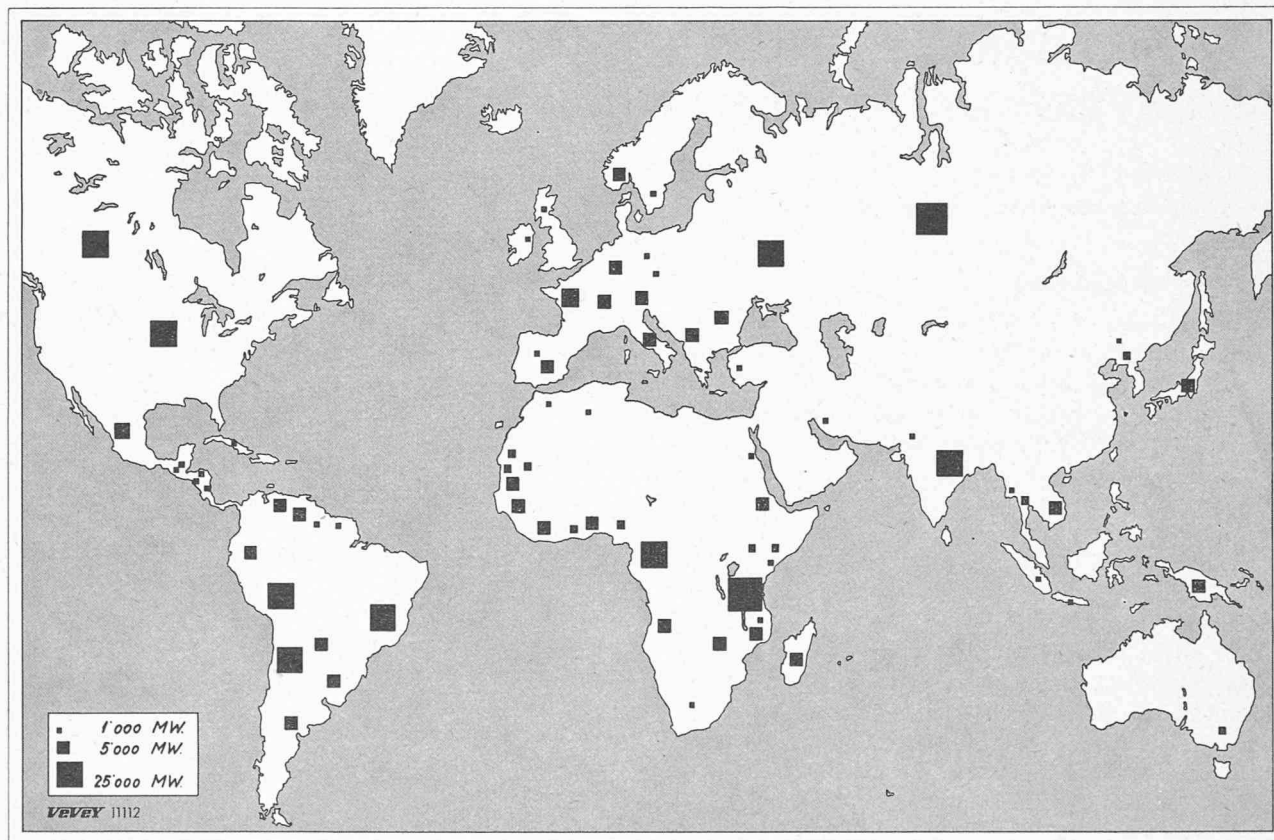


Fig. 1. — Ressources potentielles hydrauliques dans le monde (sur la base du débit minimum des rivières).

l'autre, elles sont par contre également bien distinctes et il est souvent très difficile de les marier de façon convenable. Il en est de même dans la construction des turbines hydrauliques où la réalisation d'une machine et son rendement énergétique doivent tenir compte des problèmes d'ordre économique et financier. Ces diverses notions bien éloignées l'une de l'autre de prime abord sont en réalité étroitement liées. Il n'est plus possible aujourd'hui de projeter un groupe hydro-électrique sans tenir compte de tous ces facteurs. Il y a interpénétration profonde entre ces notions. Si les progrès techniques réalisés par l'industrie, qui permettent aujourd'hui de construire des groupes de plusieurs centaines de milliers de kW, ont poussé les entrepreneurs de génie civil à entreprendre des travaux gigantesques et les sociétés financières à investir des capitaux énormes, il est également certain que les problèmes d'ordre économique ont profondément modifié la construction des turbines hydrauliques.

### Considérations techniques

Au point de vue économique, ce sont toujours les mêmes facteurs essentiels qui entrent en jeu dans la construction d'une machine, quelle qu'elle soit :

1. Diminution du poids.
2. Diminution du temps d'immobilisation de la machine en cas de révision.
3. Maintien dans le temps du rendement optimum d'une machine en exploitation.

De ces trois critères essentiels dépendent toutes les autres exigences dont il faut tenir compte pour construire rationnellement une machine.

Nous allons les prendre l'un après l'autre et examiner dans les grandes lignes leurs influences sur la conception actuelle en matière de construction de turbines hydrauliques. Nous nous excusons auprès des lecteurs de ne pouvoir, dans le cadre de cet exposé, entrer dans trop de détails car cela nous mènerait à faire un exposé théorique de longue haleine. Nous nous bornerons ici à citer les différents problèmes posés et nos lecteurs trouveront certainement dans d'autres articles récents ou

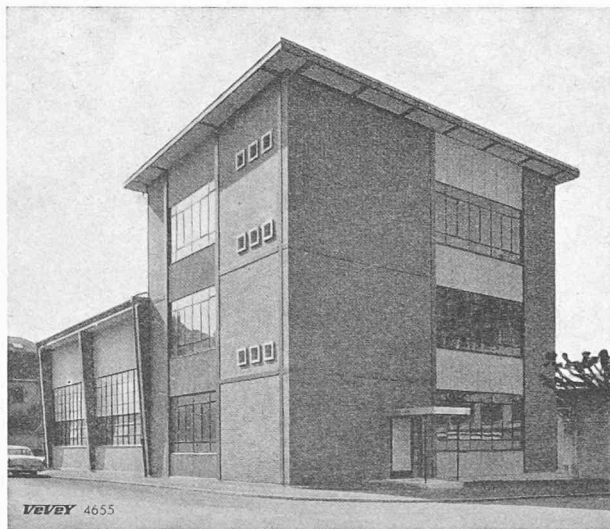


Fig. 2. — Vue extérieure du nouveau laboratoire de mécanique des fluides des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey S.A.

ultérieurs les solutions élégantes trouvées par certains constructeurs <sup>1</sup>.

### 1. Diminution du poids

Celle-ci dépend de plusieurs facteurs.

La première idée qui vient à l'esprit de chaque technicien consiste à élever la vitesse de rotation du groupe. En matière de turbines hydrauliques, élever la vitesse de la machine constitue non seulement un problème de dynamique ou de mécanique pur, mais en tout premier lieu un problème d'hydraulique et de résistance de matériaux. Sans vouloir revenir ici sur le phénomène de la cavitation que toute personne spécialisée en hydraulique connaît aujourd'hui, il faut cependant préciser que l'augmentation de la vitesse d'une turbine conduit le constructeur à élever ipso facto son nombre de tours spécifique. Autrement dit, pour une chute et une hauteur d'aspiration données, une turbine doit posséder un nombre de tours spécifique le plus élevé possible. Lorsqu'une roue répond à ces conditions, on dit, dans le jargon des turbiniers, qu'elle est « poussée ». Or, établir le profil hydraulique d'une roue poussée, demande au préalable de procéder à des essais en laboratoire sur modèles réduits, afin de déterminer de façon précise les limites dans lesquelles la roue en question peut travailler dans des conditions acceptables, tant au point de vue de la cavitation que du point de

<sup>1</sup> Voir articles de M. le professeur Th. Bovet : « Influence de quelques facteurs économiques sur la construction actuelle des turbines hydrauliques en Europe » et « Evolution et état actuel de la construction des turbines hydrauliques ». *Bulletin technique* des 1<sup>er</sup> février 1958 et 14 février 1959.

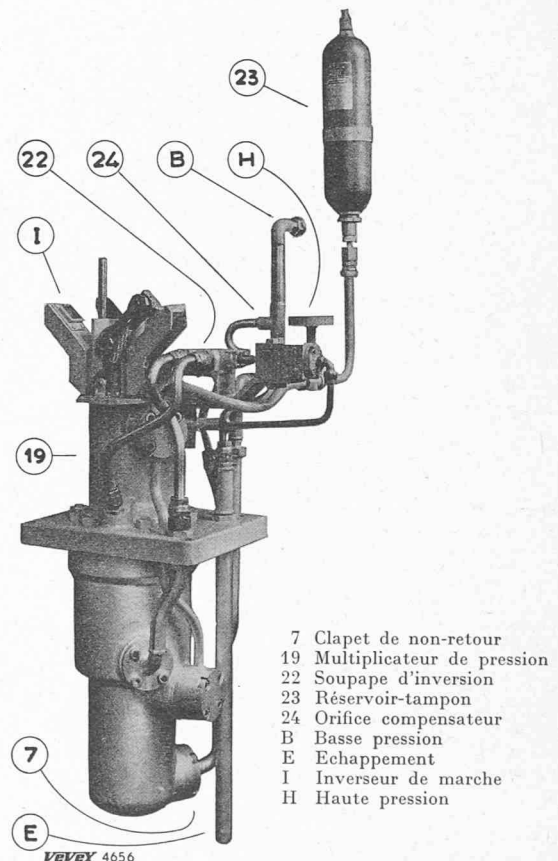
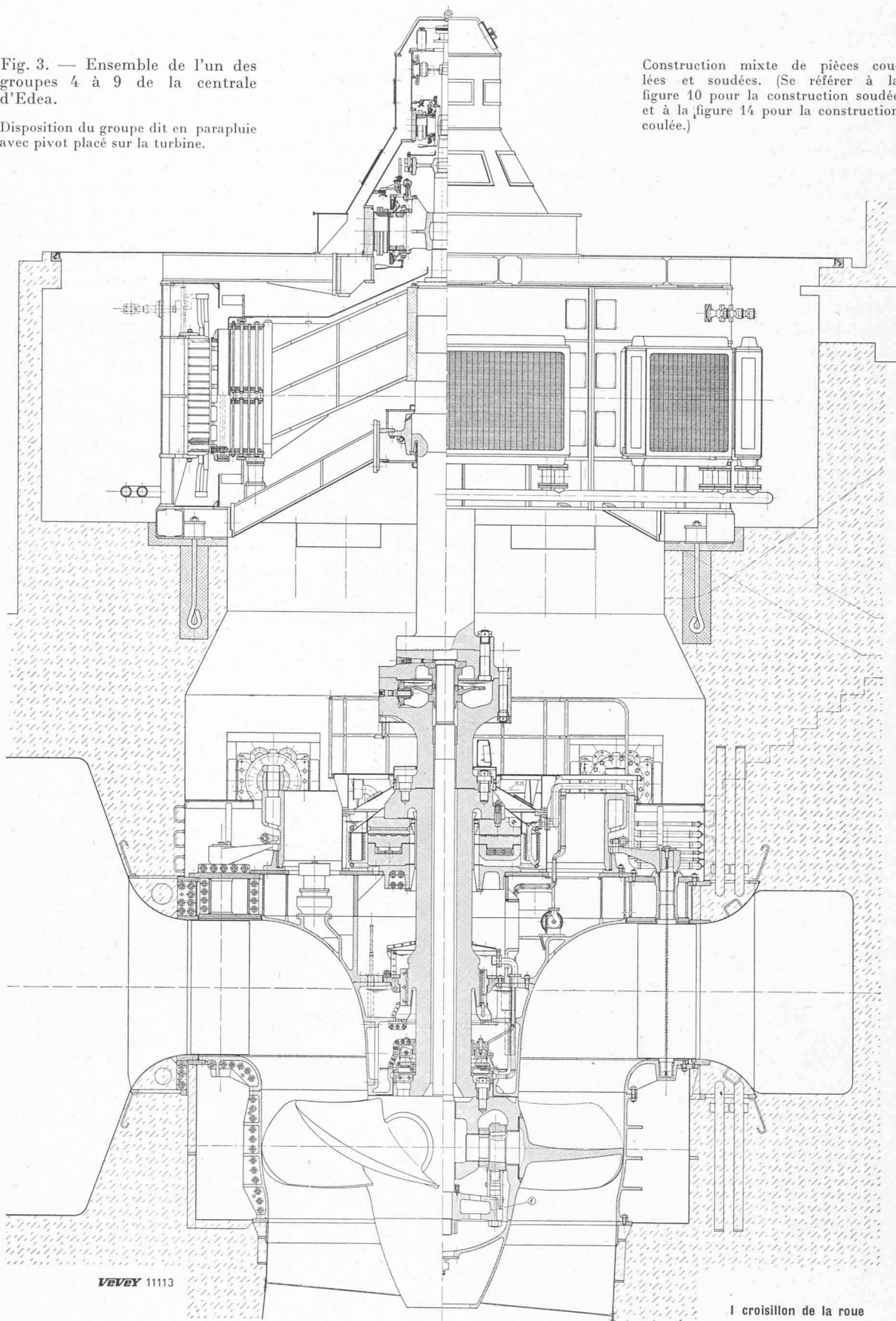


Fig. 6. — Multiplicateur de pression.

Fig. 3. — Ensemble de l'un des groupes 4 à 9 de la centrale d'Edea.

Disposition du groupe dit en parapluie avec pivot placé sur la turbine.

Construction mixte de pièces coulées et soudées. (Se référer à la figure 10 pour la construction soudée et à la figure 14 pour la construction coulée.)



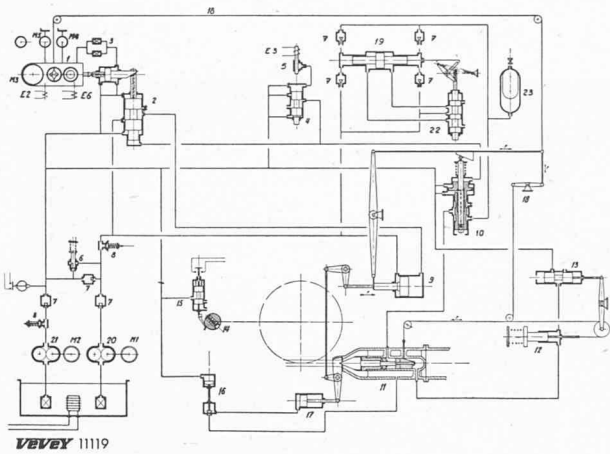


Fig. 7. — Schéma de réglage pour turbines Pelton à un injecteur avec insertion d'un multiplicateur de pression d'huile pour la commande du pointeau.

vue énergétique. C'est à l'art de l'hydraulicien responsable de déterminer dans quelles conditions une roue peut travailler normalement, fournir sa puissance maximum sans pour autant subir les effets néfastes de la cavitation.

Tous les constructeurs ont dès le début, compris l'importance de ce problème et possèdent depuis longtemps un laboratoire d'hydraulique.

Partout de nouveaux laboratoires ont été construits ou rénovés pour répondre aux dernières nécessités de la technique (fig. 2).

En Europe, les résultats obtenus dans les divers laboratoires d'hydraulique peuvent être considérés

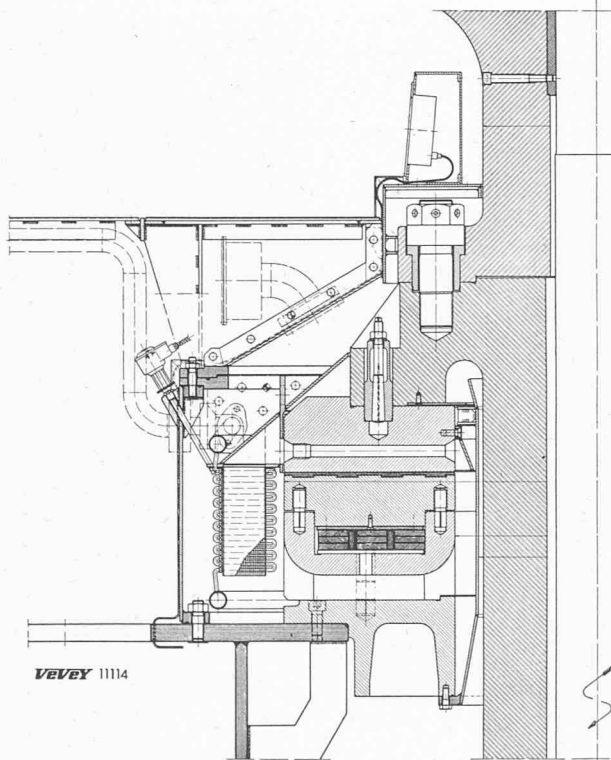


Fig. 8. — Détail en coupe d'un pivot de 500 t monté sur le couvercle central de la turbine.

La circulation forcée de l'huile à travers les serpentins augmente sensiblement le coefficient global de transmission et permet ainsi de réduire la dimension du réfrigérant.

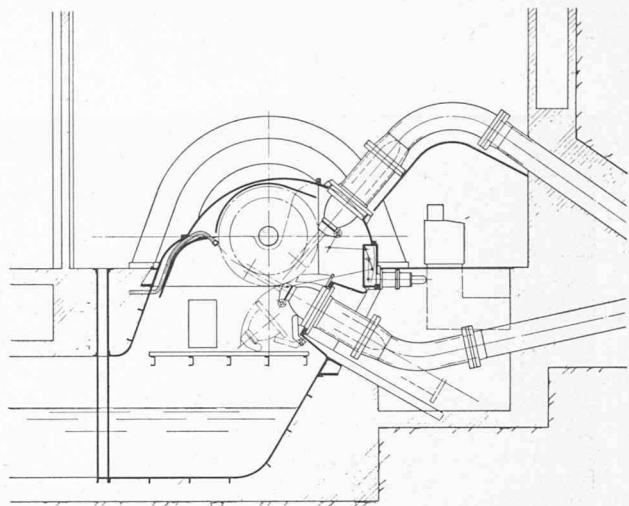


Fig. 9. — Adaptation d'injecteurs rectilignes sur turbine Pelton à double jet.

comme très satisfaisants et placent notre vieux continent en tête du progrès dans ce domaine.

La deuxième façon de réduire le poids d'une machine consiste à utiliser judicieusement les matériaux. Actuellement, la construction soudée a presque complètement remplacé les pièces qui jadis étaient coulées. A part certains éléments construits en série, et ceux relatifs aux pivots, aux paliers, aux injecteurs Pelton, etc., tous les autres peuvent être exécutés en tôles soudées (fig. 3, 4, 5 et 10).

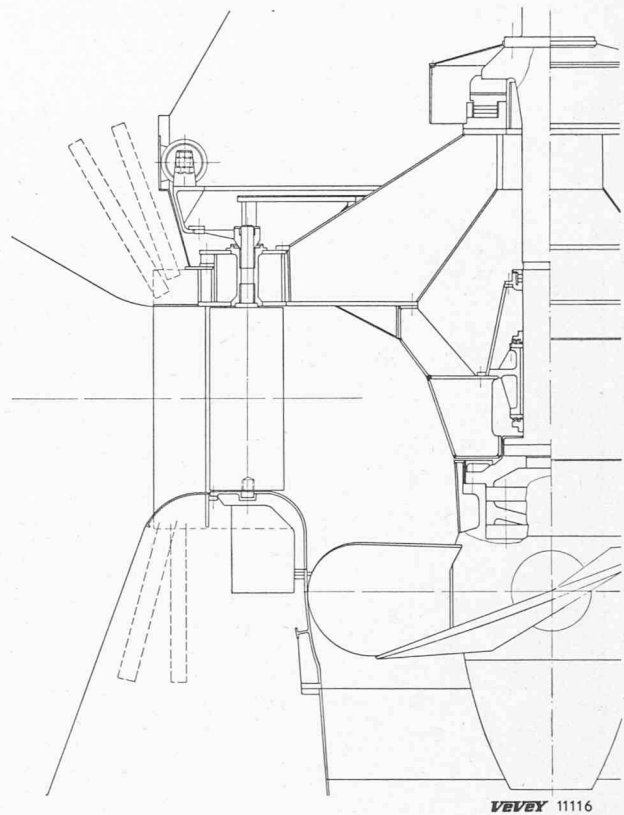


Fig. 10. — Vue en coupe d'une turbine Kaplan de construction entièrement soudée.

(Se référer à la figure 3 pour la construction mixte et à la figure 14 pour la construction moulée.)

Les pales de la roue motrice sont attaquées indépendamment et directement par le servo-moteur placé sur la roue. Il n'y a plus de croisillon indice 1, figure 3, et plus de tige de commande à travers l'arbre.

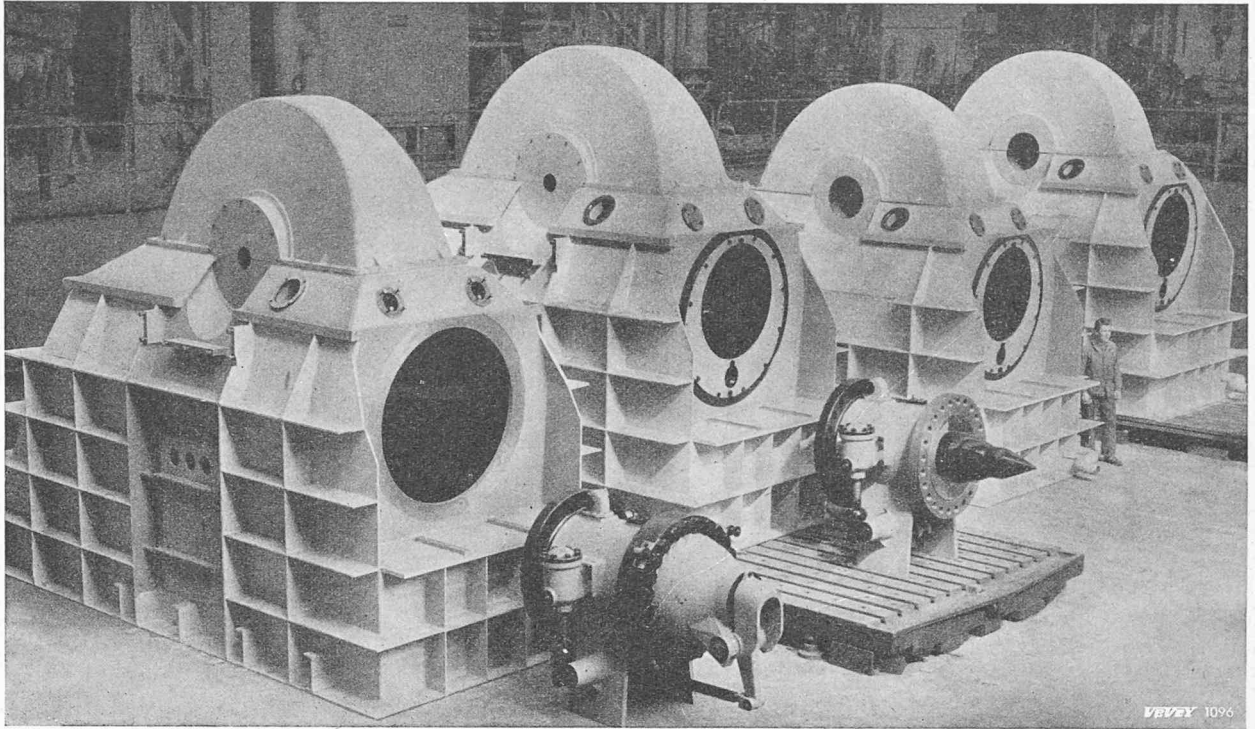


Fig. 4. — Bâti des turbines Pelton de la centrale de Saint-Martin-Vésubie (Electricité de France).  
Puissance 24 000 kW ; chute 690 m ;  $n = 600$  t/min.

Ces deux figures nous montrent l'évolution de la construction soudée dans les turbines Pelton avec injecteur rectiligne.

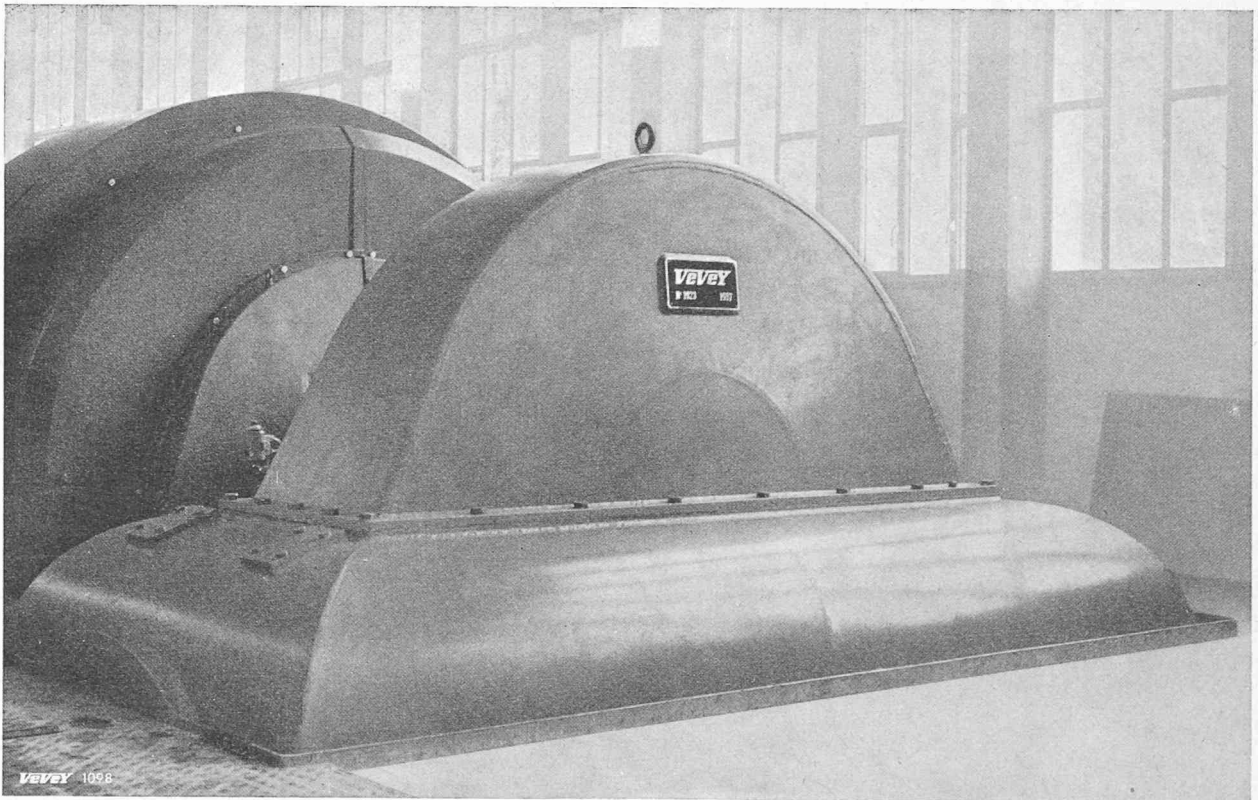
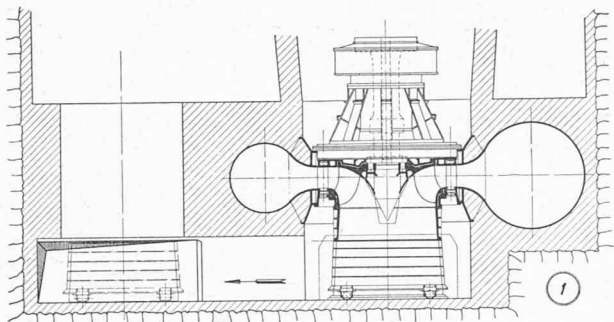
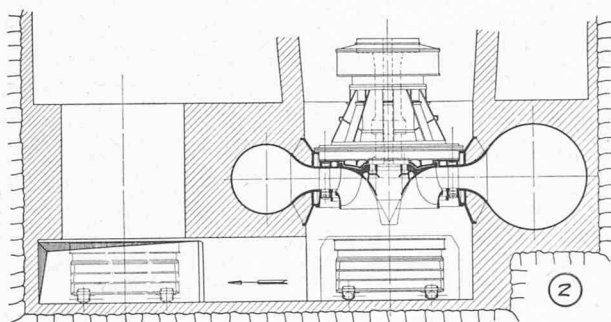


Fig. 5. — Turbine Pelton de la centrale de Lostalio (Monteforno S.A.). Puissance 11 500 kW ; chute 710 m ;  $n = 600$  t/min.

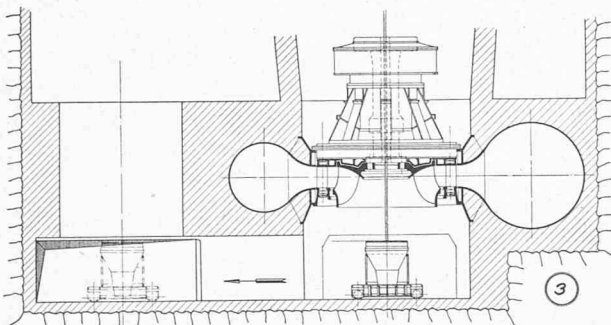
Fig. 11. — Démontage d'une roue Francis par le bas de la turbine.



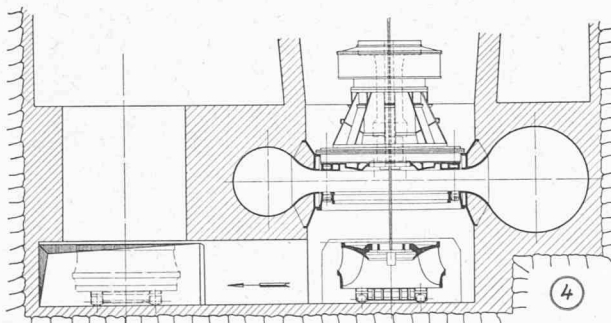
1. Démontage du cône du diffuseur.



2. Démontage du manteau de la roue.



3. Démontage de l'ogive.



VEVEY 11117

4. Démontage de la roue.

En plus des deux principaux facteurs que nous venons de citer, nous pouvons encore mentionner :

Augmentation de la pression d'huile dans les organes de la régulation (fig. 6 et 7).

Augmentation de la pression spécifique dans les pivots et diminution d'encombrement des corps de réfrigération (fig. 8).

Nouvelle disposition des groupes verticaux du type dit en parapluie pour les groupes Kaplan et Francis avec le pivot placé sur la turbine (fig. 3 et 10).

Nouvelle évolution des turbines Pelton de grande puissance vers le type à axe vertical avec plusieurs jets.

Nouvelle disposition dans les turbines Pelton avec l'adaptation de l'injecteur du type « rectiligne » dans le cas de turbines à jets multiples (fig. 9).

Suppression possible des vannes de pied grâce à la réalisation de distributeurs étanches.

Nouvelle disposition des servo-moteurs pour la commande du vannage pour le type de turbines Francis et Kaplan.

Nouvelle disposition dans la commande des pales Kaplan avec suppression du croisillon dans la roue (fig. 3 et 10).

Suppression progressive des points de graissage grâce à l'emploi des douilles auto-lubrifiantes.

Les différentes figures illustrant cet article montrent au lecteur comment tous ces problèmes peuvent être résolus.

Ces divers progrès enregistrés dans la construction se traduisent par une diminution sensible du rapport poids-puissance. Aujourd'hui, nous pouvons préciser<sup>1</sup> que pour une turbine Kaplan de grande puissance, le

<sup>1</sup> M. le professeur *Th. Bovet* donnait, en 1953, les chiffres de 10 kg/ch pour des turbines à basse chute et de puissance moyenne et de 2 à 3 kg/ch pour des turbines à haute chute et de puissance moyenne.

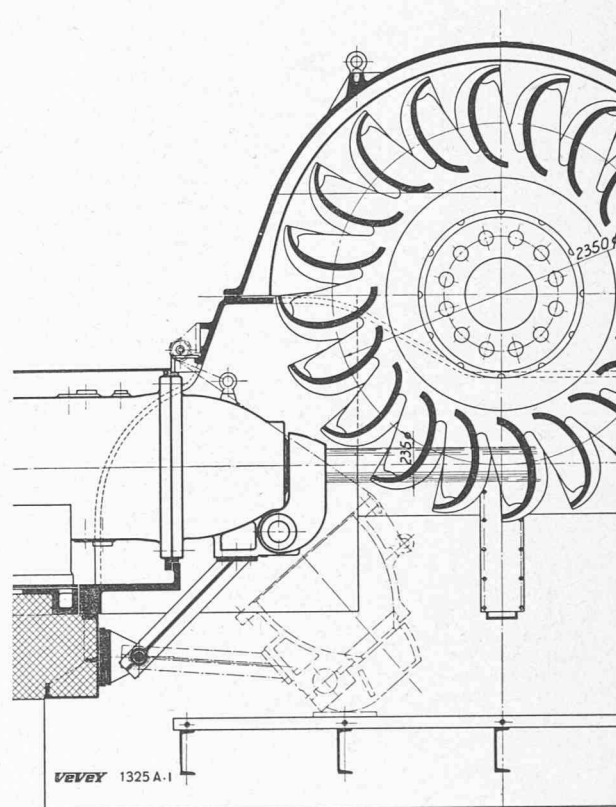
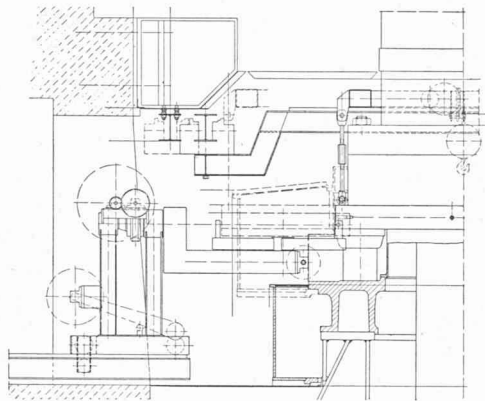


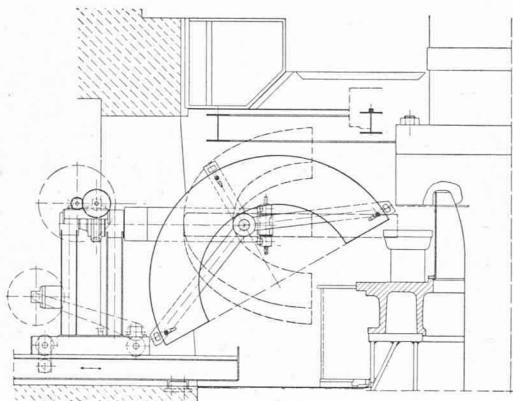
Fig. 13. — Démontage de la tuyère d'un injecteur Pelton.



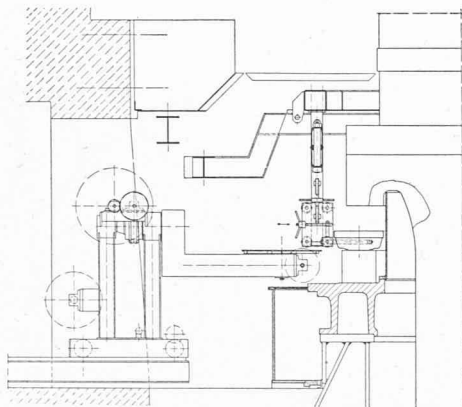
Fig. 12. — Engin de démontage d'un pivot.



Extraction de la lentille du pivot.

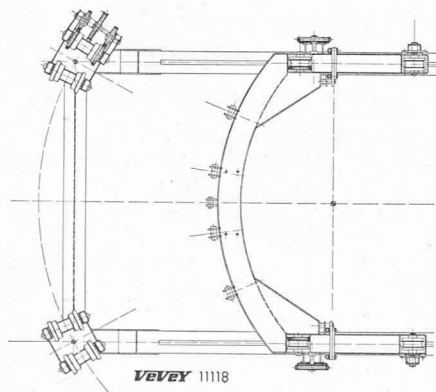


Ripage de la lentille hors du cuvelage de la turbine.



Démontage des patins.

Vue en plan de l'engin de démontage qui sert en même temps au démontage des aubes directrices de la turbine.



VEVEY 11118

rapport poids-puissance atteint 6 kg/ch; une turbine Francis de même puissance le même rapport est inférieur à 3 kg/ch; enfin, pour les groupes Pelton, on atteint aujourd'hui le chiffre record de 2,3 kg/ch. Il est intéressant de comparer ces chiffres avec d'autres chiffres similaires pris dans l'industrie. Nous constatons par exemple, qu'au point de vue poids-puissance, les turbines hydrauliques peuvent aujourd'hui rivaliser avec les voitures de sport les plus modernes (au dernier Salon de Genève une voiture de sport atteignait 2,7 kg/ch).

Bien que ces chiffres ne soient pas comparables, il est cependant intéressant de montrer jusqu'à quel point les progrès réalisés dans le domaine des turbines ont abouti à alléger de façon sensible leurs poids et par conséquent à en diminuer le prix.

## 2. Diminution du temps d'immobilisation de la machine en cas de revision

Il est toujours intéressant pour un exploitant de pouvoir réduire le temps d'immobilisation d'un groupe au minimum lors d'une revision d'entretien. Les constructeurs de turbines en ont saisi d'emblée l'importance et ont porté une attention toute particulière au problème du démontage rationnel et rapide des éléments d'une turbine. Avant toutes choses, ils se sont attachés à faciliter le démontage des organes les plus soumis à l'usure; en particulier, les roues et les distributeurs des turbines Kaplan et Francis et les tuyères et pointeaux d'injecteurs des turbines Pelton.

Montrons par quelques illustrations diverses solutions adoptées pour atteindre ce but d'une façon simple et rationnelle.

Les figures 9 et 13 montrent qu'il est aisé de démonter la tuyère d'un injecteur rectiligne d'une turbine Pelton sans démonter ce dernier. Une fois la tuyère enlevée, le pointeau est facilement accessible et démontable si nécessaire. Le siège du pointeau fixé sous la tuyère sera également remplacé facilement si l'usure l'exige.

Sur la figure 11, nous voyons les différentes phases

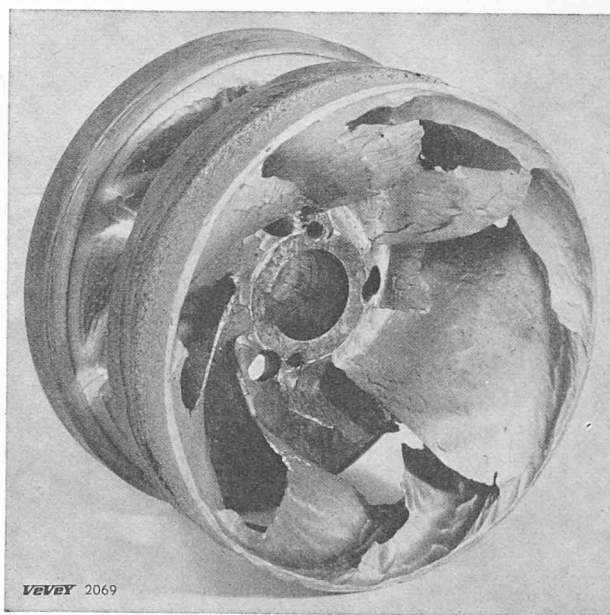


Fig. 14. — Roue Francis en bronze usée par les effets de l'érosion.

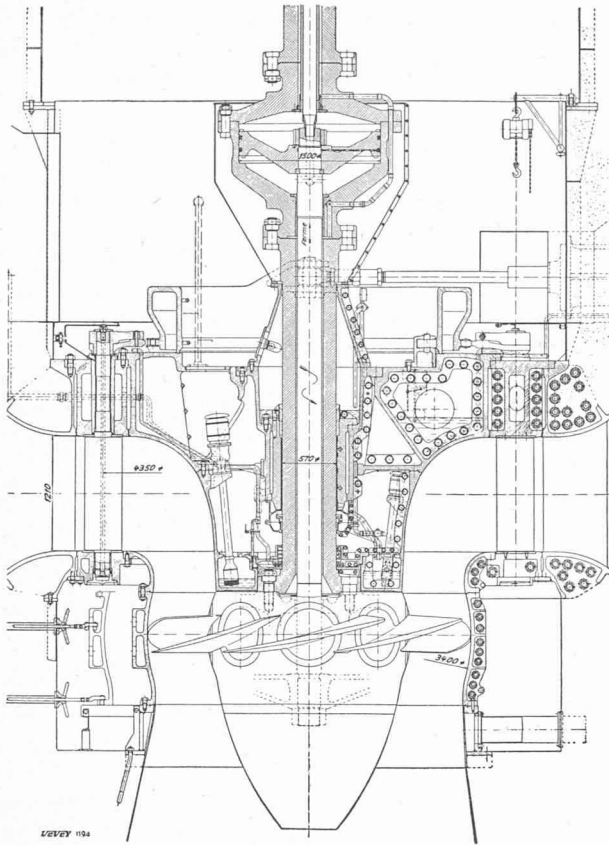


Fig. 15. — Turbine Kaplan de la centrale de Lavey.

Construction entièrement coulée. (Se référer à la figure 3 pour la construction mixte et à la figure 10 pour la construction soudée.) En traits fins, le ripage du manteau de la roue en cas de révision de celle-ci.

de démontage d'une roue Francis par le bas de la turbine. Cette technique qui permet de remplacer une roue sans devoir démonter ni la turbine ni l'alternateur est aujourd'hui devenue courante et exigée par presque tous les exploitants. Bien que datant déjà de plusieurs années, elle a pris aujourd'hui toute son importance par l'apparition de groupes puissants qui exigent, lors du démontage, une manutention très coûteuse et une très grande perte de temps.

La figure 15 montre avec quelle facilité on peut accéder aux pales d'une roue Kaplan par simple ripage du manteau de la roue.

Enfin, d'autres progrès dans ce domaine ont été réalisés que nous ne pouvons, faute de place, décrire ici, mais nous voulons encore signaler la facilité avec laquelle on peut démonter aujourd'hui un pivot placé sur la turbine sans qu'il soit nécessaire de démonter d'autres organes du groupe (fig. 12).

Par ces quelques exemples, nous avons voulu attirer l'attention du lecteur non seulement sur les solutions adoptées mais également sur l'importance que revêt ce problème dans la rentabilité de l'exploitation d'une centrale hydro-électrique.

Il ne suffit toutefois pas de réduire le temps d'immobilisation d'une machine. Il faut également chercher à éviter la répétition fréquente des démontages. Le but à atteindre est de construire des turbines capables de fonctionner plusieurs années sans révision, tout en conservant leur sécurité de marche. C'est grâce au pro-

digieux développement de la sidérurgie et de la métallurgie de ces dernières années, qui ont mis à la disposition du constructeur hydraulicien des matériaux nouveaux, que celui-ci est arrivé à prolonger la durée de vie de certains organes sujets à une grande usure et de ce fait à espacer les révisions.

### 3. *Maintien dans le temps du rendement optimum d'une machine en exploitation*

Il est enfin un autre point sur lequel aujourd'hui, davantage qu'il y a quelques années, l'exploitant doit vouer toute son attention. Nous avons dit plus haut que les turbines actuelles étaient poussées. Ce terme est à la mode et il est couramment employé dans la technique automobile.

Comme dans une automobile, dans une turbine poussée, les organes sont fortement sollicités et sujets à une plus grande usure. Lorsque les organes d'adduction d'eau sont partiellement détériorés, le rendement d'une turbine baisse rapidement (fig. 14).

La perte due à cette baisse de rendement peut atteindre des chiffres énormes. Le rendement énergétique d'une turbine hydraulique se trouve aujourd'hui à un niveau difficilement surpassable (93 % dans certains cas). Toutefois, ce rendement n'a de valeur effective que pour autant qu'il garde sa valeur optimum dans le temps. Dans certaines conditions d'exploitation, il est difficile d'empêcher l'usure du matériel. Il est par contre possible de ralentir sensiblement celle-ci afin de maintenir le rendement à une valeur acceptable. A titre d'exemple, nous signalons le cas d'un pointeau et d'une tuyère Pelton.

Les dernières recherches et expériences effectuées prouvent que la baisse rapide du rendement d'une telle turbine dépend avant tout de l'état du pointeau et de la tuyère. Autrefois, dans de très mauvaises conditions hydrauliques (eau très corrosive) les dégâts par érosion étaient tels qu'un pointeau ne durait que quelques centaines d'heures. Aujourd'hui, grâce aux nouveaux matériaux mis à disposition, il est possible de prolonger cette durée jusqu'à un millier d'heures environ.

Il s'est avéré très utile de pouvoir chromer les parties d'une pièce en contact avec la veine liquide (manteau de roue, flasque de distributeur, etc.). Ce chromage prolonge sensiblement la durée de vie de la pièce et maintient le rendement de la machine à un niveau élevé pendant un laps de temps prolongé. Après des essais et des recherches fructueuses réalisées en France, il est possible actuellement de chromer dur des pièces pesant plusieurs tonnes.

Dans la fabrication des roues également, de nombreux progrès ont été effectués ces dernières années.

De nouveaux alliages ont fait leur apparition sur le marché (bronze d'aluminium, par exemple), qui résistent mieux aux effets de la cavitation et de l'érosion.

Le procédé de « placage » des aubes est aujourd'hui au point et employé couramment pour protéger les parties délicates dans les grandes roues du type Francis et Kaplan (fig. 16 et 17).

Tous ces facteurs concourent par leur conception à donner à la construction actuelle un caractère nouveau et une augmentation toujours plus sensible de la rentabilité d'exploitation d'une turbine.

## Nouveaux progrès

Nous ne voudrions pas terminer cet exposé sans signaler quelques récentes innovations effectuées dans le domaine des turbines hydrauliques.

Par la création des grands réseaux interconnectés, les besoins de ceux-ci en énergie réactive (ceci afin de maintenir le facteur de puissance dans des limites admissibles pour l'exploitation) ont augmenté et l'intérêt de faire marcher des groupes hydro-électriques en réserve tournante, conduit le producteur d'énergie à exploiter ses groupes générateurs en moteurs synchrones, c'est-à-dire à fermer l'admission d'eau des turbines et à laisser les groupes enclenchés sur le réseau.

Dans les groupes Francis avec disposition horizontale ou verticale la roue de la turbine, pour des raisons d'hydraulique, est généralement calée en dessous du niveau aval. Elle est « noyée » et lors de la marche en moteur synchrone barbote dans l'eau en absorbant une puissance importante. Afin de réduire celle-ci, il est nécessaire de « dénoyer » la roue.

Pour atteindre ce but, il suffit d'injecter de l'air comprimé dans la turbine.

Le problème ainsi posé semble simple à première vue. En réalité, de nombreuses difficultés surgissent par suite des exigences de l'exploitation qui imposent entre autres que la durée nécessaire au passage de la marche du groupe en générateur à celle en moteur et inversement, soit aussi réduite que possible.

Certains constructeurs ont eu l'occasion ces derniers temps d'étudier ce problème et se sont efforcés de le résoudre de façon rationnelle. Des essais sont en cours aussi bien chez le turbinier que chez l'exploitant afin de rechercher la meilleure technique de dénoyage.

Quelques constructeurs se sont également spécialisés dans la construction de turbines de récupération d'énergie dans le processus chimique de traitement des gaz. Ces turbines travaillent dans une ambiance gazeuse corrosive sous pression et avec des fluides très divers

(solutions ammoniacales, etc.). La conception toute spéciale de ces turbines a posé d'innombrables problèmes au constructeur. Il faut en particulier offrir à cette nouvelle clientèle de l'industrie chimique des turbines dont le rendement énergétique est assez élevé pour en assurer la rentabilité.

Signalons encore :

L'introduction de l'électronique dans le domaine du réglage.

L'apparition de nouveaux paliers-guides du type « à patins » pour groupes verticaux et de nouveaux types de pivots rigides ou semi-rigides pour charge élevée (1000 tonnes et plus) dont l'équirépartition des charges est assurée par divers systèmes, selon le constructeur.

Les problèmes complexes des usines marémotrices équipées de groupes bulbes ou de groupes axiaux avec alternateurs en puits, ne doit pas nous faire oublier le renouveau assez inattendu des études et des recherches sur les machines mixtes turbines-pompes travaillant sur des aménagements avec accumulation. La preuve du vif intérêt que chaque turbinier accorde à ce sujet est donnée par les Cinquièmes Journées de l'Hydraulique, tenues à Aix-en-Provence du 26 au 28 juin 1958, où plus de dix rapports ont été consacrés à cette question d'une brûlante actualité.

## Conclusion

Sans cesse, de nouveaux problèmes se posent aux turbiniers. Mais quels qu'ils soient, ceux-ci ne peuvent être résolus que dans l'esprit d'une étroite et franche collaboration de tous les services qui s'y rattachent.

Nous voulons rendre hommage ici à nos devanciers qui ont fait les premiers pas dans le domaine des turbines hydrauliques et qui par leur persévérance et leur esprit d'initiative ont fait de notre pays l'un des berceaux de l'hydraulique dans le monde.

Rappelons à ce sujet que les premières turbines livrées par la Suisse datent de 1850 environ.

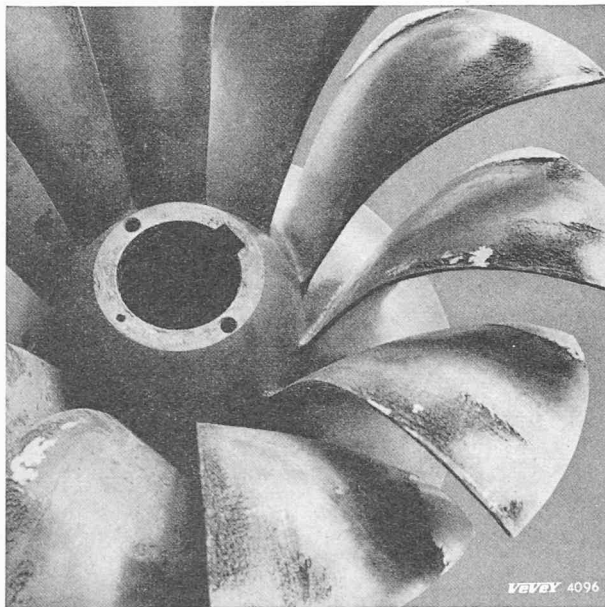


Fig. 16. — Extrados des aubes non plaquées d'une roue Francis attaquées par les effets de l'érosion et de la cavitation.

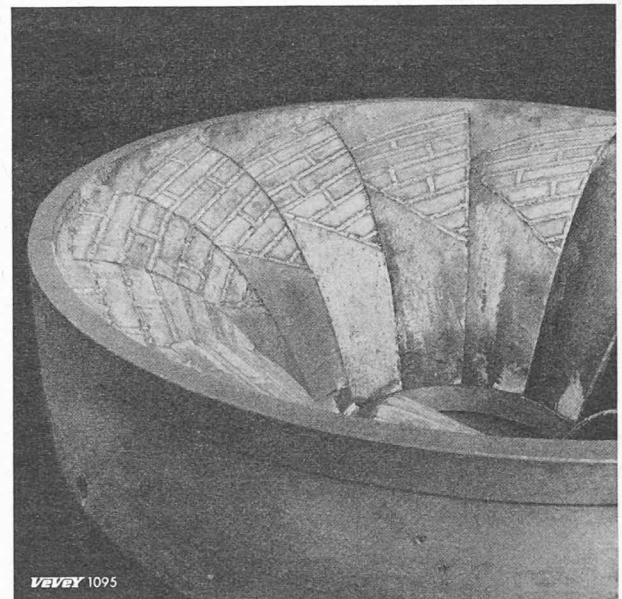


Fig. 17. — Roue Francis de 16 000 kW.

D'après photo mise gracieusement à notre disposition par CAFL Saint-Chamond (Loire).

Figure de droite : Procédé de placage en tôle d'acier inoxydable de l'extrados des aubes d'une roue Francis.