

LA HOUILLE BLANCHE

J. REY, Éditeur, GRENOBLE

Abonnement pour une Année $\left\{ \begin{array}{l} \text{France... 30 francs} \\ \text{Étranger . 40 francs} \end{array} \right\}$ Le Numéro : 5 francs

Compte Chèques Postaux LYON 5-84

SOMMAIRE

LES FORCES HYDRAULIQUES. — Quelques installations remarquables de Turbines modernes. par R. HOFMANN, Ingénieur en Chef des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey. — Les grands aménagements hydrauliques transalpins : La rupture du barrage du Gleno, par J. BOUTET, Ingénieur A.-M., membre de la Société des Ingénieurs civils de France et de l'« Associazione Elettrotecnica Italiano » (Sez. de Torino).

ÉLECTRICITÉ. — Sur la mise en parallèle automatique des Machines synchrones et des Centrales électriques. — Court-circuit dans les Transformateurs à 3 enroulements, par

MM. BARRÈRE, Ingénieur aux Etablissements Schneider, chef de travaux électro-techniques à l'École Centrale des Arts et Métiers, et R. ESCHAPASSE, ancien élève de l'École Polytechnique. — Alternateurs de 65.000 KVA de la Niagara Falls Power Company.

LÉGISLATION. — La taxation de la force motrice des chutes d'eau à l'impôt foncier, par Paul BOUGAULT, avocat à la Cour d'Appel de Lyon.

DOCUMENTATION.

BIBLIOGRAPHIE.

LES FORCES HYDRAULIQUES

Quelques Installations remarquables de Turbines modernes

Par R. HOFMANN, Ingénieur en chef des Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey.

Les turbines à hélice de l'Usine Hydroélectrique de Wynau.

L'ancienne centrale de Wynau, située sur la rive droite de l'Ar, étant insuffisante pour faire face aux besoins de la consommation, les propriétaires de cette centrale décidèrent la création, sur la rive gauche, d'une usine équipée pour une puissance de 10.000 chevaux et desservie par le même barrage que l'usine de la rive droite.

Les turbines de l'ancienne centrale développant 860 chevaux entraînent les alternateurs par l'intermédiaire d'engrenages coniques volumineux. Pour s'affranchir des inconvénients multiples inhérents à ces engrenages, les Entreprises électriques de Wynau mettant à profit les remarquables progrès réalisés, ces dernières années, dans le domaine des turbines à grande vitesse, grâce à l'adoption de roues en forme d'hélice de navire, ont résolu d'équiper la nouvelle usine de puissantes turbines de ce type. Le principe de ce système de turbines est d'ailleurs fort ancien, comme le prouve le bref historique suivant. Les anciennes turbines Jonval possédaient déjà des roues motrices portant autour de la couronne intérieure une seconde couronne en forme d'hélice sans couronne extérieure.

La courbure des aubes était cependant très accentuée à cause de la vitesse périphérique relativement faible en usage à cette époque. D'autre part, l'eau était amenée au rotor par un distributeur axial mal approprié au réglage des aubes. Une intéressante proposition fut faite en 1860 par l'Américain Truax qui a fait breveter une turbine avec roue à hélice comportant 4 aubes sans couronne extérieure. L'eau également était amenée à la roue par une chambre en forme de spirale. Le réglage était fait par la vanne d'admission. Horton et Williams proposèrent respectivement en 1877 et 1893 des roues motrices d'une forme presque identique à celle d'une hélice de navire, munies d'aubes

plus courtes que l'intervalle circonférenciel entre deux aubes consécutives ; mais la turbine à hélice, supplantée par la turbine Francis à admission centripète et à sortie axiale, fut abandonnée pendant quelque temps.

Le but poursuivi par tous les constructeurs était l'accroissement de la vitesse des turbines en vue de l'accouplement direct des alternateurs, lequel réalise une notable réduction des dépenses d'établissement. A cet effet, la vitesse périphérique qui, il y a une dizaine d'années ne dépassait guère $1,0 \sqrt{2 gH}$ a été portée à $2 \sqrt{2 gH}$ et même à $3 \sqrt{2 gH}$. Pour diminuer le frottement dû à cette vitesse élevée, on a réduit le nombre et la longueur des aubes et, pour prévenir les remous, on a donné aux aubes une forme plus simple, moins incurvée. Grâce enfin à la réduction progressive du diamètre du disque-moyeu, sur lequel sont fixées les aubes, on revint, peu à peu, à la forme en hélice préconisée il y a longtemps, nous l'avons déjà relevé, par Horton et Williams.

C'est principalement à l'ingénieur Nagler, à Milwaukee et au Dr Kaplan, professeur à Brunen, que revient le mérite d'avoir perfectionné ce genre de turbine. Ensuite des résultats excellents obtenus et publiés par le Dr Kaplan la plupart des constructeurs reprirent la construction des roues à hélice. Les Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey, qui poursuivaient aussi depuis longtemps l'étude des turbines à grande vitesse, expérimentaient, à leur station d'essais, des roues à hélice d'un diamètre de 380 mm. C'est sur la constatation des résultats tout à fait favorables produits par une de ces roues, que les Entreprises électriques de Wynau passèrent aux dits Ateliers de Vevey la commande de 2 turbines à hélice destinées à utiliser une chute variant de 2, 4 à 5,2 mètres et calculées chacune pour développer une puissance maximum de 2.700 chevaux à une

vitesse de 107 tours par minute. Les turbines de l'ancienne centrale qui sont pourtant d'un modèle récent développent, sous la même chute, et à la vitesse de 42 tours par minute, une puissance de 860 chevaux seulement.

Turbines.

La figure 1 représente une coupe et la fig. 2 une vue d'une turbine de Wynau. Chaque groupe turbo-alternateur possède 3 paliers principaux dont 2 font partie de l'alternateur. Le palier de guidage de la turbine, monté sur le couvercle du distributeur, est muni de coussinets en métal blanc graissés par de

gie résiduelle par le moyen de la transformation graduelle de la vitesse en dépression à la sortie de la roue. La roue motrice, d'une seule pièce, en acier coulé, livrée par les Acieries Fischer à Schaffouse, est constituée par un moyeu portant 4 aubes sans couronne extérieure. Elle a la forme d'une hélice de navire. En vue de réduire la vitesse restante, le diamètre de la roue est plus grand à la sortie qu'à l'entrée. Les aubes sont relativement longues pour améliorer le guidage de la veine liquide et prévenir les remous nuisibles. La roue, boulonnée sur le plateau d'accouplement venu de forge avec l'arbre de turbine, tourne dans une enveloppe en fonte facilement démontable. Lors du démontage

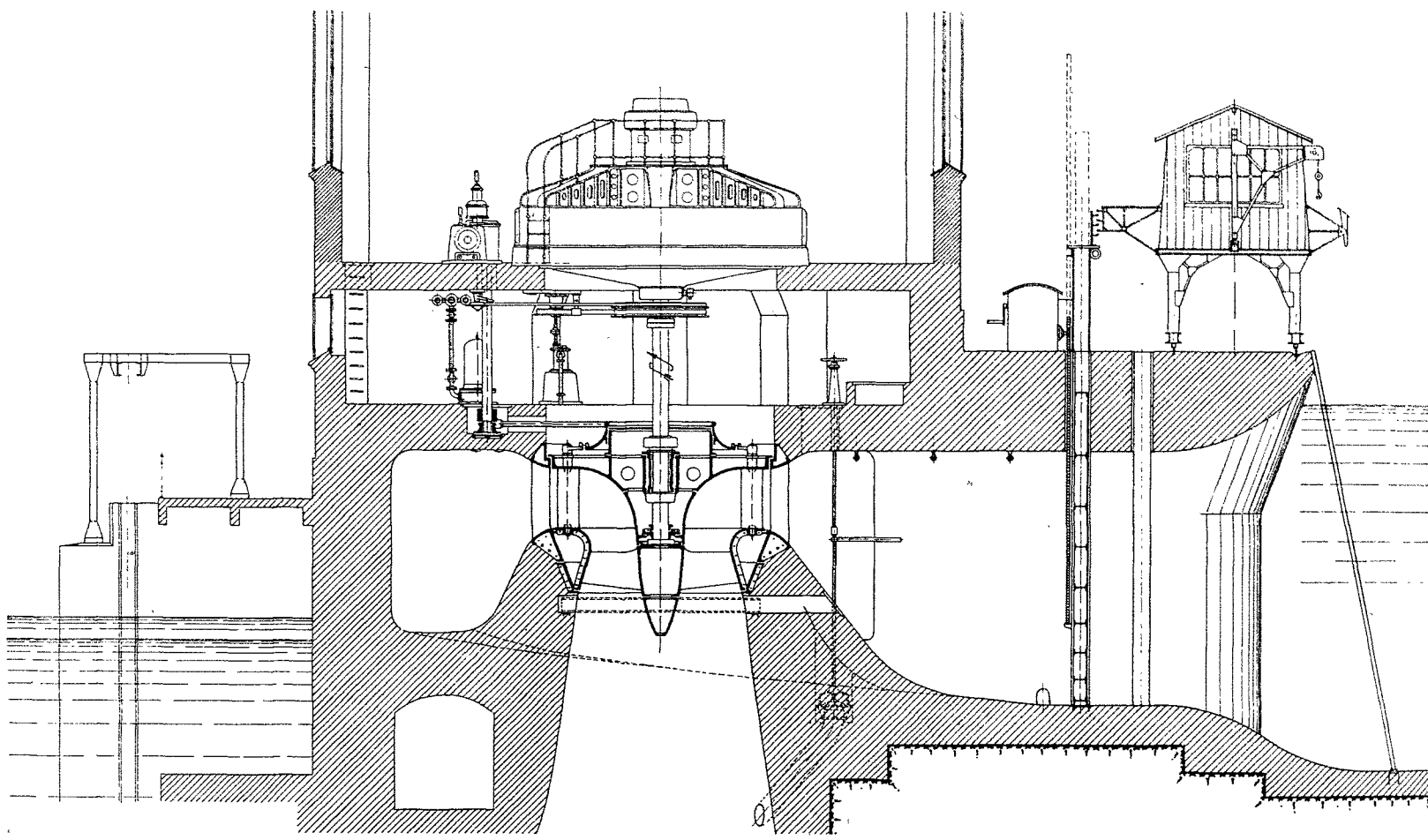


Fig. 1. — Coupe d'une des turbines de Wynau, construites par les « Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey ». Echelle 1 : 150.

l'huile circulant sous l'action d'une petite pompe à engrenages commandée par l'arbre de la turbine au moyen d'engrenages intermédiaires. La circulation de l'huile est visible à distance.

L'eau est amenée au distributeur par une bêche spirale en béton dont l'entrée a été disposée symétriquement en vue de faciliter par l'élimination des remous, le jaugeage du débit au moyen du moulinet. Le bâti de la turbine, d'une construction très robuste, composé de deux anneaux de scellement en fonte reliés par dix colonnes venues de fonderie avec eux, supporte la turbine, l'alternateur, une partie du plancher ainsi que la charge provenant du pivot.

La forme à donner au tube d'aspiration a été l'objet d'une attention toute spéciale en raison de la vitesse très considérable que l'eau possède encore à la sortie de la roue motrice et qui correspond à 1/4 et même 1/3 de l'énergie totale. L'aspirateur (diffuseur) permet de récupérer la plus grande partie de cette éner-

de l'alternateur, la roue avec l'arbre peut être appuyée sur deux traverses en fers profilés qu'on introduit dans des échancrures pratiquées dans les parois de l'aspirateur en béton. Le rotor de l'alternateur peut être appuyé sur son croisillon inférieur à l'aide de vérins prévus à cet effet. Le distributeur, d'une construction semblable à celui d'une turbine Francis, est formé d'un anneau inférieur portant l'enveloppe conique de la roue motrice, d'un couvercle supérieur et de 30 aubes pivotantes en acier coulé. Bâti et distributeur sont divisés axialement. Les aubes pivotantes sont d'une seule pièce avec leurs tourillons qui tournent dans des douilles en bronze. Les tourillons supérieurs traversent le couvercle du distributeur et portent à leur extrémité les leviers de réglage qui sont reliés aux cercles de vannage par des bielles en bronze. Ces dernières sont flexibles en vue de prévenir la détérioration des aubes au cas où un corps étranger pénétrerait entre elles au moment de leur fermeture.

Pivot.

Le pivot, monté sur le croisillon de l'alternateur, supporte non seulement le poids des masses tournantes de la turbine et de l'alternateur, mais encore la poussée axiale de l'eau sur la roue motrice. La charge totale peut atteindre 82 tonnes. Les fig. 3 à 5 représentent ce pivot, breveté, exécuté par les Ateliers de Vevey. La lentille a un diamètre de 940 mm. Les segments pivotants qui glissent sur une mince couche d'huile admise entre eux et la lentille s'appuient sur des anneaux flexibles en acier au chrome-

sous une pression de 15 atm. dans la chambre d'air ; un réservoir central d'huile muni d'une petite pompe centrifuge commandée par un moteur électrique qui permet de remplir et de vider les réservoirs d'huile de chaque régulateur, en cas de revision.

Les régulateurs, montés dans la salle des alternateurs, sont de construction semblable à ceux de la Jogne décrits dans le *Bulletin technique de la Suisse Romande*, numéro du 24 mai 1924. Chaque turbine est munie de deux dispositifs de sûreté : l'un provoque la fermeture automatique de la turbine dès que le

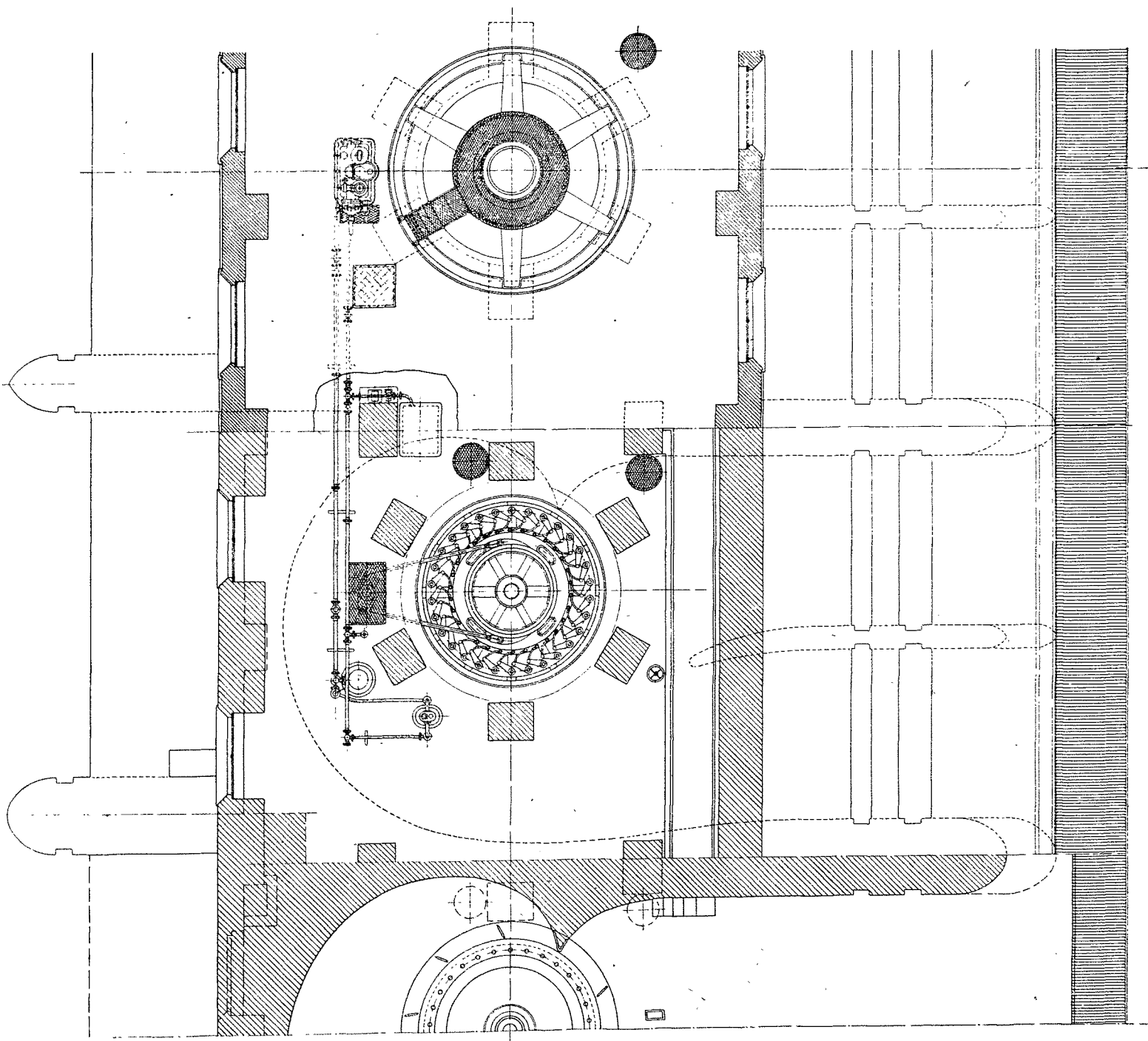


Fig. 1. — Plan d'installation des turbines de Wynau. — Echelle 1 : 150.

nickel grâce auxquels on assure une répartition uniforme de la charge sur tous les segments et sur toute leur largeur, même au cas où le montage et l'exécution ne seraient pas rigoureusement exacts.

Réglage.

Au sous-sol sont logés près de chaque turbine :

La pompe à huile à engrenages à 2 étages qui refoule l'huile

tachymètre du régulateur s'arrête, soit par suite de la chute de la courroie, soit pour cause de grippage. L'autre dispositif consiste en un régulateur centrifuge fixé sur l'arbre de la turbine et qui, dès que la vitesse dépasse 120 tours par minute, déclenche un cliquet qui agit, par l'intermédiaire d'un appareil approprié, sur le distributeur d'huile du régulateur, provoquant la fermeture de la turbine.

Essais.

Les deux premières turbines qui ont été mises en marche en octobre 1923 ont donné d'emblée entière satisfaction à tous les points de vue, de sorte que les Entreprises électriques de Wynau ont passé aux Ateliers de Vevey la commande de 2 autres turbines identiques.

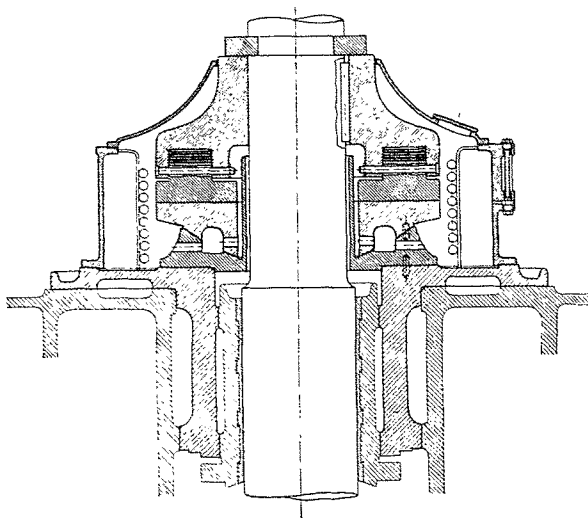


Fig. 3. — Coupe du pivot. — 1 : 25.

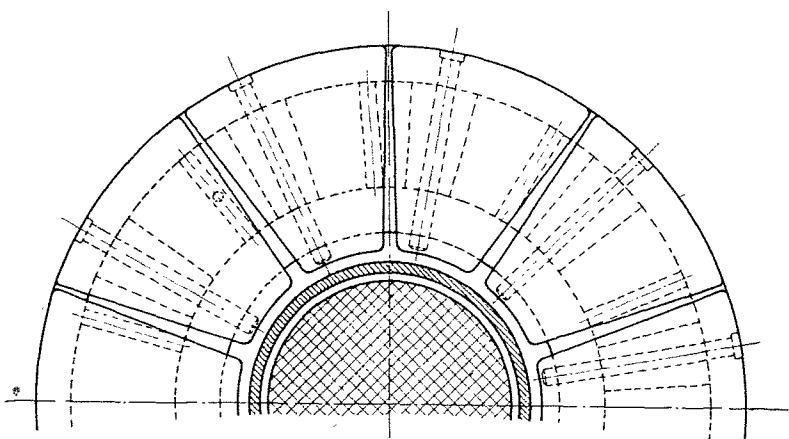


Fig. 4. — Vue par dessous des segments pivotants. — 1 : 25.

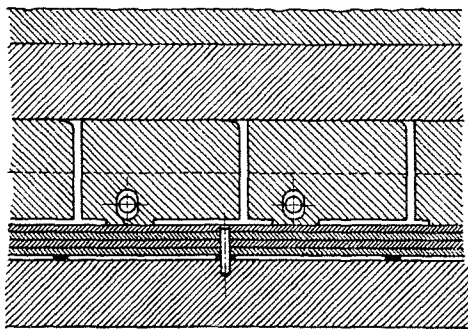


Fig. 5. — Coupe par les segments pivotants. — 1 : 10.

Le couple de démarrage est élevé et la stabilité du régime très bonne, contrairement à ce qui se passe pour les turbines à hélice munies d'aubes courtes. Au cours des expériences exécutées sur la petite roue d'essai on a pu constater une certaine stabilité de régime : en maintenant la chute et la vitesse constantes, le débit, la puissance et dans une certaine mesure le rendement dimi-

nuaient lentement d'environ 3 % après la mise en marche. Il est vrai que cette petite turbine a été expérimentée sous une chute presque aussi haute que celle de Wynau. Les grandes turbines de cette centrale n'ont présenté aucun phénomène de ce genre. Les essais de réception ont eu lieu du 9 au 16 janvier 1924 sous la direction du Bureau hydroaérométrique du Service fédéral des Eaux. La puissance développée par l'alternateur était mesurée par les soins de la Stations d'essai et d'étalonnage de l'Association suisse des Electriciens. Les résultats obtenus au cours de ces

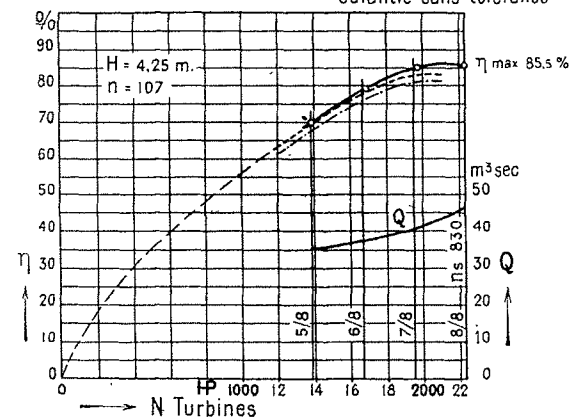
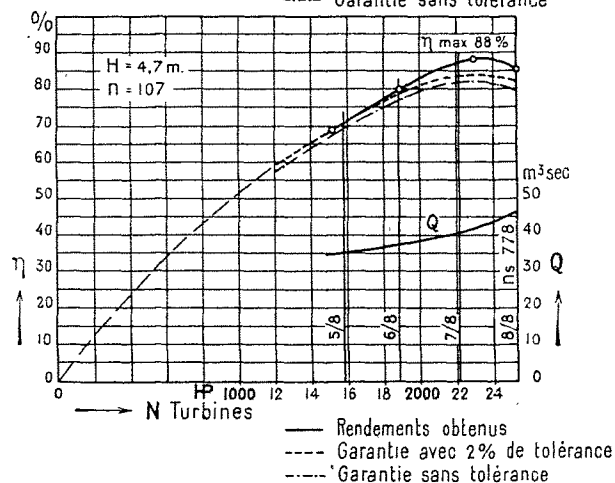
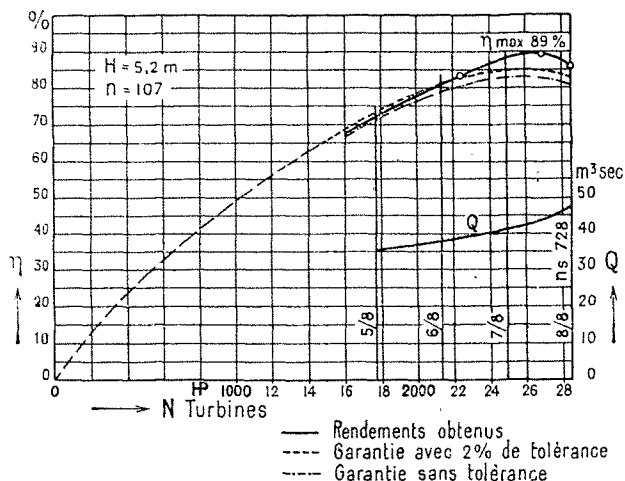


Fig. 6. — Diagrammes d'essais de réception.

ssais sont exprimés graphiquement dans les tableaux fig. 6 et 7 élaborés par ledit bureau. Le rendement maximum atteint sous 5,2 m. de chute est de 89 % correspondant au nombre de tours spécifique de 728. Ces résultats sont d'autant plus remarquables que le rendement est déjà de 85% sous la chute réduite à 4 mètres, c'est-à-dire avec un nombre de tours spécifique de 862. Bien que la chute varie entre 2,5 et 5,2 mètres, les variations du débit sont minimes, 8% environ. Cette propriété est d'une

grande importance vu que, grâce à elle, la puissance diminue beaucoup moins, lors des crues, que pour les turbines Francis.

Afin de faciliter l'interprétation du diagramme des « caractéristiques principales » à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiers avec ce genre de représentation, nous considérons l'exemple suivant : sous la chute de 5 m. le rendement correspondant à la pleine charge, soit 2.730 chevaux (intersection de la courbe « pleine charge » avec l'ordonnée 5 m.) est de 86% tandis qu'il est de 87,7% pour $\frac{7}{8}$ de la charge.

$\frac{1}{4}$ de la charge. Le rendement des alternateurs est aussi plus élevé par suite de leur plus grande vitesse angulaire.

3° La puissance s'abaisse moins que ce n'est le cas pour les turbines Francis lorsque la chute diminue, les turbines à hélice sont donc particulièrement bien adaptées à l'aménagement des chutes de hauteur variable.

4° La roue n'ayant qu'un petit nombre d'aubes, la distance entre celles-ci est au moins 3 fois plus grande que pour les turbines Francis, ce qui exclut toute possibilité d'obstruction. De

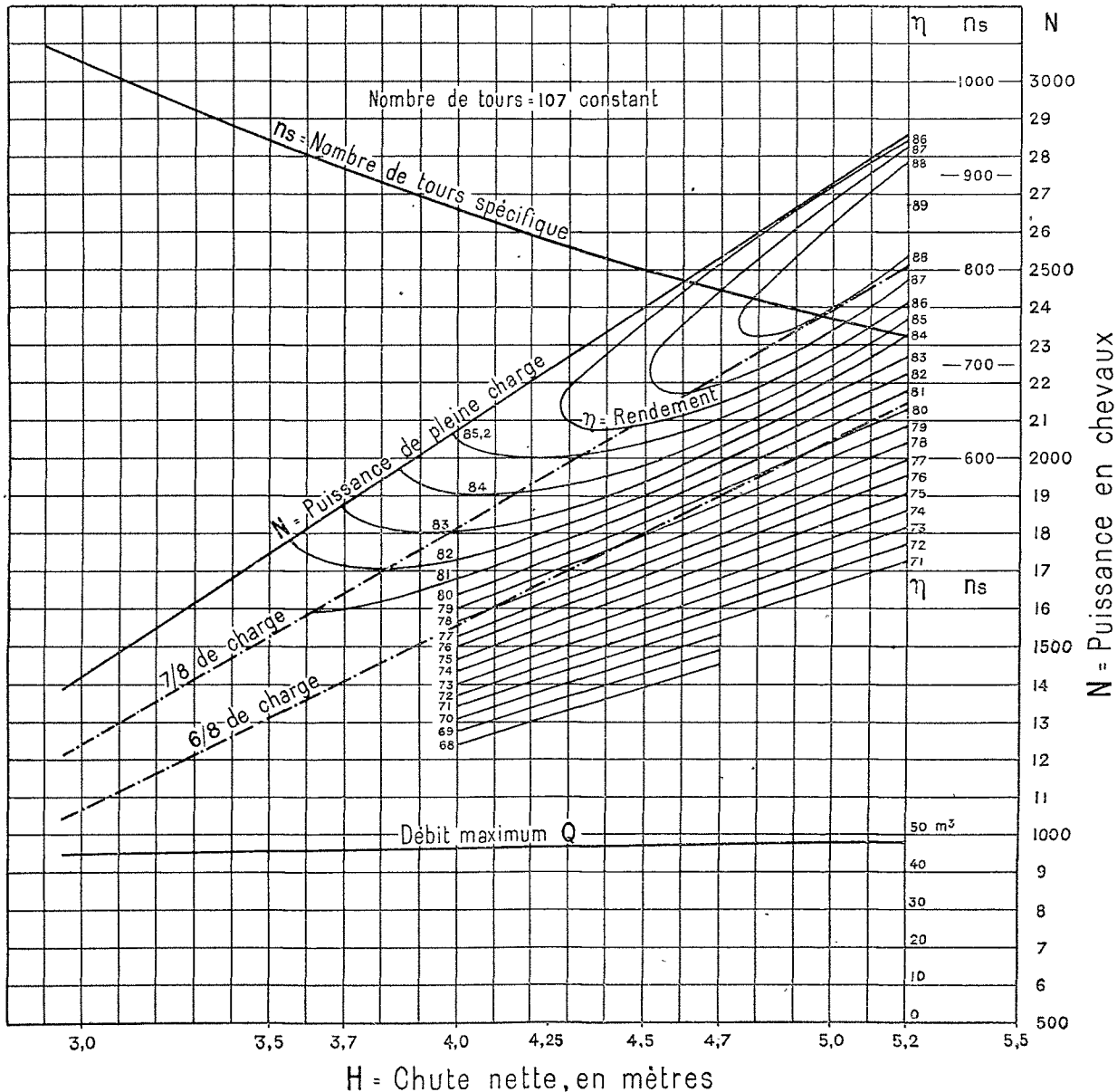


Fig. 7. — Caractéristiques principales des turbines de Wynau construites par les « Ateliers de Constructions Mécaniques de Vevey ».

Avantages des turbines à hélice.

Les turbines à hélice conviennent spécialement bien pour utiliser avec le minimum de frais la puissance disponible dans les rivières de plaine donnant de gros débits sous faibles chutes. Par rapport aux turbines Francis leurs avantages sont les suivants :

- 1° Nombre de tours très grand donc coût et encombrement de l'alternateur réduits. Salle des machines moins large.
- 2° Rendement élevés pour des régimes compris entre $\frac{3}{4}$ et

plus, l'écartement des barreaux des grilles peut être augmenté, ce qui réalise une économie sur le coût de ces grilles, une diminution des pertes de charge à travers ces appareils et une réduction de la dépense de nettoyage.

5° L'alternateur est moins lourd, le pont roulant moins puissant, donc les murs du bâtiment moins épais.

6° La roue n'étant munie que d'un petit nombre d'aubes et coulées d'une seule pièce avec le moyeu est plus robuste que la roue Francis.