

# Note sur les essais de rendement d'une des nouvelles turbines de l'usine du Bois Noir

Autor(en): **Montmollin, A. de**

Objektyp: **Article**

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

Band (Jahr): **48 (1922)**

Heft 4

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-37389>

## **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.

# BULLETIN TECHNIQUE

## DE LA SUISSE ROMANDE

Réd. : D<sup>r</sup> H. DEMIERRE, ing.

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE EN LANGUE FRANÇAISE DE LA SOCIÉTÉ SUISSE DES INGÉNIEURS ET DES ARCHITECTES

SOMMAIRE : Note sur les essais de rendement d'une des nouvelles turbines de l'usine du Bois Noir. — Concours d'idées pour l'établissement d'un plan d'avenir de la Commune de Monthey (suite et fin). — Sur l'emploi des explosifs à base d'air liquide. — La « fatigue » des métaux soumis à la torsion alternative. — DIVERS : Concours pour l'établissement d'un système mécanique à débit continu affecté au transport en commun des personnes. — Foire d'échantillons de la construction moderne à Turin. — NÉCROLOGIE : Edm. Guinand. — SOCIÉTÉS : Société suisse des Ingénieurs et des Architectes.

### Note

#### sur les essais de rendement d'une des nouvelles turbines de l'usine du Bois Noir

Il a paru récemment dans ce *Bulletin*<sup>1</sup> une suite d'articles décrivant les installations électriques de la ville de Lausanne, et notamment l'agrandissement de l'Usine du Bois Noir près de Saint-Maurice (Valais).

Des essais de rendement très complets ayant été effectués lors de la réception définitive sur une des turbines des nouveaux groupes, il nous a paru intéressant de résumer ces essais à l'intention des lecteurs des articles précités, d'autant plus que les valeurs obtenues, déterminées par des procédés éliminant toute possibilité d'erreur, sont très remarquables étant données les caractéristiques des turbines.

Sans vouloir entrer dans les détails de construction, nous rappelons que les turbines sont du type Francis, à axe horizontal, à une seule roue avec bêche de forme spirale et distributeur à aubes mobiles, avec mécanisme de commande placé entièrement hors de l'eau. Chaque turbine est munie, comme il convient, d'un régulateur automatique de vitesse ainsi que d'un orifice compensateur ou régulateur de pression ; la présence de cet orifice étant imposée par la très grande longueur de la conduite d'amenée.

Aux termes du marché passé avec les *Ateliers Piccard, Pictet et C<sup>ie</sup>*, à Genève, qui ont conçu, exécuté et monté ces turbines, chacune des trois unités commandées devait fournir sur son arbre à la vitesse de 375 t/m, et à complète ouverture du distributeur, 3000 chevaux sous 31 mètres de chute nette, et 3450 chevaux sous 34 mètres de chute nette.

Bien que les conditions de chute et de vitesse ne fussent pas particulièrement favorables, les rendements garantis ne devaient pas être inférieurs à

- 81 % à pleine charge
- 82 % à trois quarts de charge
- 75 % à deux quarts de charge

Nous dirons immédiatement que les rendements atteints dépassent largement les valeurs garanties. Comme on le

verra par la suite, la puissance maximum obtenue sous 34 m. de chute nette a été de 3730 chevaux et sous la même chute, les rendements ont été constamment supérieurs à 81 % de demi à pleine charge, tout en passant par un maximum très voisin de 90 % pour trois quarts de charge (fig. 1).

Notre intention n'est pas de donner une description détaillée de la façon dont les essais ont été effectués, mais simplement d'énumérer les dispositions prises pour obtenir des résultats aussi exacts que possible, tant pour la détermination du débit et de la puissance que pour la fixation de la chute nette.

Lors de l'étude préliminaire de l'agrandissement de l'usine, nous avons déjà examiné avec le constructeur des turbines quelle serait la façon la plus simple de mesurer la quantité d'eau absorbée. Nous nous étions arrêtés provisoirement à une méthode de jaugeage par moulinets placés dans la conduite d'amenée, comme cela avait déjà eu lieu dans d'autres installations.

Diverses circonstances, et notamment la difficulté de trouver une section de conduite non enterrée, précédée et suivie d'une partie rectiligne suffisamment longue, firent abandonner l'idée primitive, d'autant plus que le bassin de mise en charge présentait un profil convenant particulièrement bien à un jaugeage par moulinets (fig. 2). Ce profil, précédé immédiatement des grilles de retenue, pouvait être envisagé comme un rectangle parfait, d'une largeur moyenne de 5416 mm., au passage duquel l'eau aurait vraisemblablement une vitesse sensiblement la même en tous les points de la section.

Pour augmenter les chances d'opérer en état stable dans un temps aussi court que possible, deux moulinets électriques furent utilisés et la vitesse de l'eau fut déterminée en 70 points sur 7 verticales, la profondeur de l'eau dans la section de jaugeage étant en moyenne de 2,65 m.

Les dispositions prises pour mesurer le débit remplirent exactement leur but et permirent de travailler rapidement avec toute l'exactitude désirable. Le début et la fin de chaque jaugeage, correspondant à une charge invariable de la turbine, étaient indiqués par téléphone aux personnes qui relevaient à l'usine la chute correspondante, ainsi que la puissance fournie par l'alternateur. Il fallait, en effet, éviter toute fausse manœuvre et obtenir d'emblée une concordance parfaite des lectures, car le

<sup>1</sup> *Bulletin technique* 1921, pages 217, 241, 265.

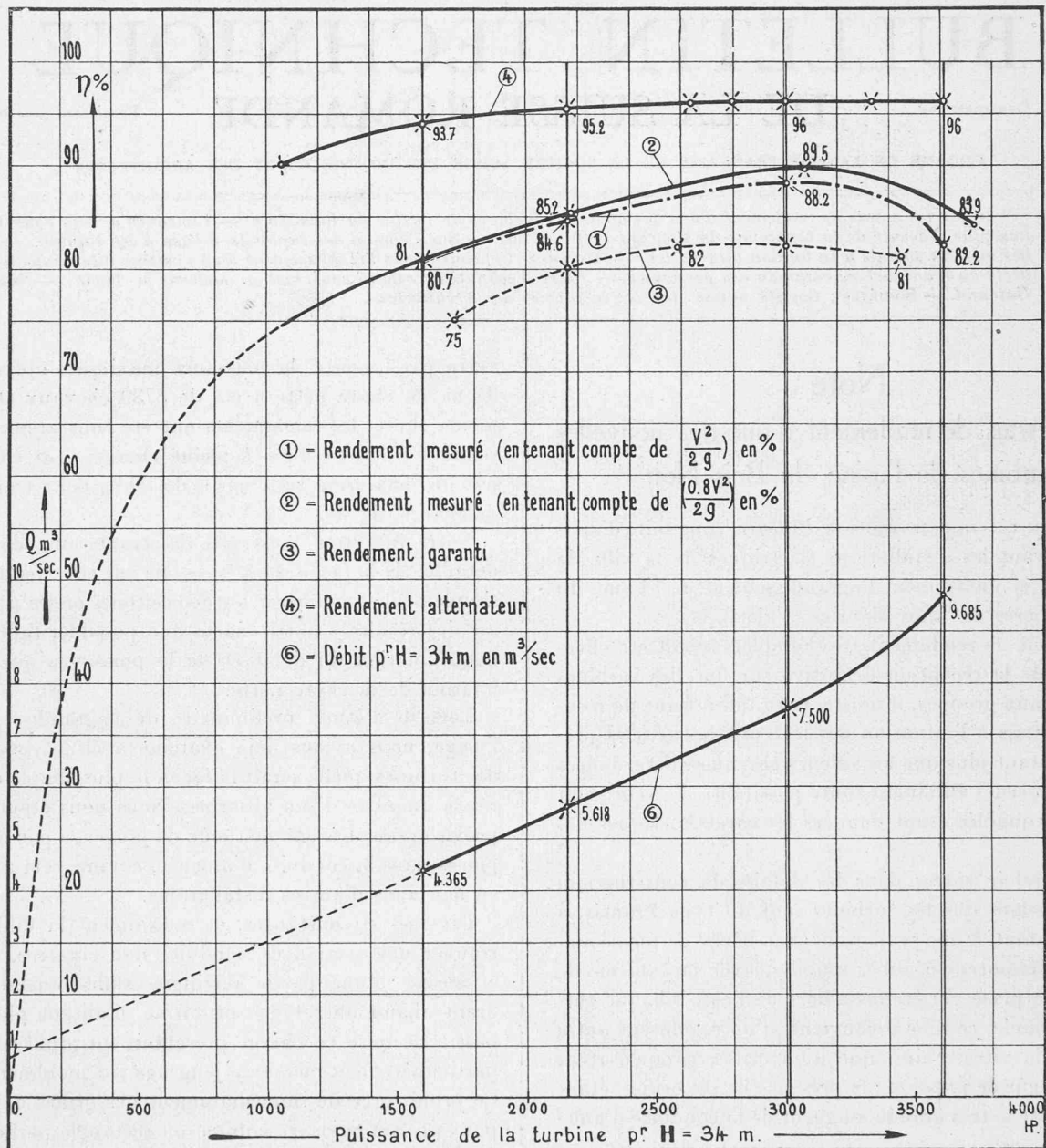


Fig. 1. — Essais de rendement d'une des nouvelles turbines de l'usine du Bois Noir.

temps limité dont nous disposions n'eût pas permis de renouveler un essai qui aurait été entaché d'erreurs.

Les variations du niveau de l'eau dans le profil de jaugeage étaient également relevées à intervalles réguliers et il fut tenu compte de ces variations dans les calculs définitifs.

La conduite forcée, qui s'ouvre immédiatement à l'aval du profil de jaugeage, n'alimentait qu'une seule des trois turbines ; le papillon, placé à la jonction de la nouvelle conduite en béton armé, et de l'ancienne conduite était, bien entendu, fermé ; un examen, fait quelque temps auparavant, avait permis de se rendre compte de son étanchéité ; au surplus, l'ancienne conduite alimentait, le jour de l'essai, deux des turbines des groupes continu-

série et nous avons reconnu à l'aide de manomètres que la pression y était plus faible que dans la nouvelle conduite ; il n'y avait donc à craindre aucun apport d'eau qui pût influencer les essais dans un sens favorable. Nous avons donc admis, comme débit absorbé par la turbine essayée, le total de celui mesuré à l'aide des moulinets, sans aucune déduction, bien qu'il y eût des pertes d'eau à l'orifice compensateur de la même turbine et que la résistance hydraulique fût alimentée par une dérivation prise sur la conduite forcée. Comme ces pertes furent estimées au maximum à 15 litres par seconde, nous n'en n'avons pas tenu compte dans les calculs.

La pression en marche dans la conduite, ayant servi de base au calcul des rendements, a été donnée par la

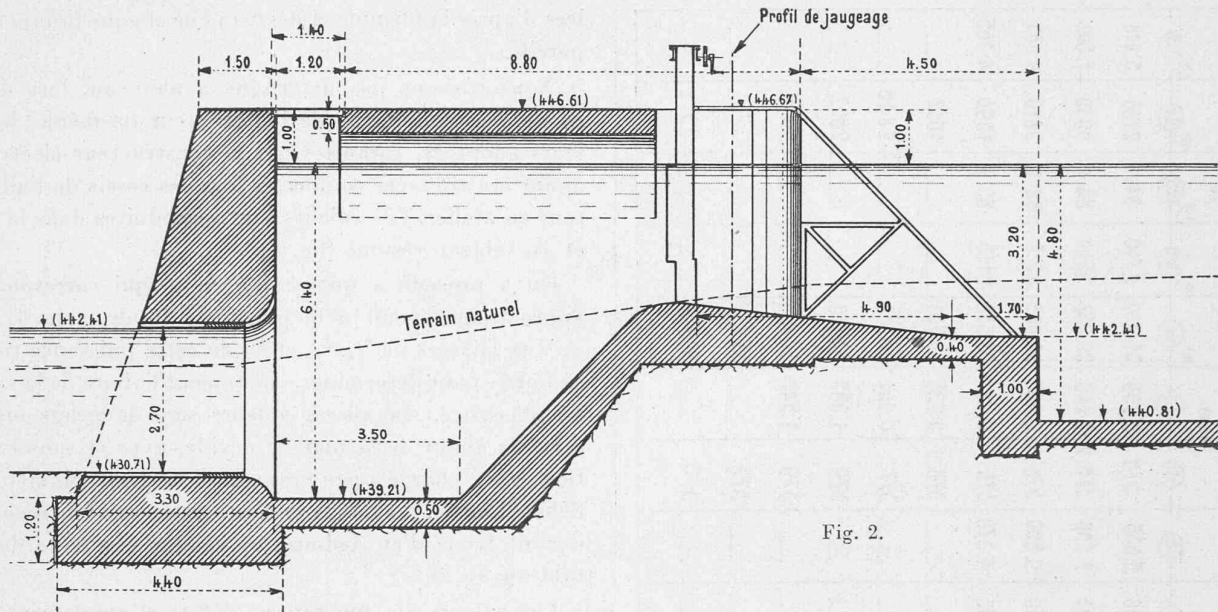


Fig. 2.

moyenne des indications de quatre manomètres, étalonnés avant et après les essais, et branchés après la vanne d'arrêt, sur la tuyauterie reliant la turbine au collecteur. La distance entre le centre des manomètres et le niveau aval dans le canal de fuite était obtenue par lecture directe à l'aide d'un flotteur placé en face du tuyau d'aspiration de la turbine en essais, sur le bord du canal opposé au bâtiment.

La somme de la moyenne des indications manométriques et de la distance du centre des manomètres au niveau aval, ne donne cependant pas la chute nette en marche ; il faut y ajouter la hauteur représentative de la vitesse sous la prise des manomètres ; l'énergie cinétique correspondant à cette vitesse n'est, en effet, pas enregistrée par le manomètre, bien qu'elle soit une forme d'énergie récupérée dans la turbine elle-même, au même titre que l'énergie correspondant à la pression statique.

Cependant, il ne faut pas tenir compte de la valeur complète de  $\frac{v^2}{2g}$ , si  $v$  désigne la vitesse moyenne de l'eau dans la section considérée, car l'expérience a démontré que, dans une section circulaire, la vitesse des filets liquides longeant les parois, c'est-à-dire de ceux qui passent sous la prise des manomètres, est plus faible que la vitesse moyenne déterminée par la relation  $v = \frac{Q}{\frac{\pi}{4} D^2}$  ; cette

diminution est de l'ordre de grandeur de 15 % environ de la vitesse moyenne, soit de 0,15<sup>2</sup> ou 0,2 de  $\frac{v^2}{2g}$  ; il en résulte que le terme  $\frac{v^2}{2g}$  doit être multiplié par 0,8 environ, c'est ce coefficient que nous avons adopté pour déterminer la chute nette qui est donc égale à la hauteur manométrique, plus la distance du centre des manomètres au niveau aval, plus  $0,8 \frac{v^2}{2g}$ .

Il nous a paru toutefois intéressant de déterminer également le rendement de la turbine en admettant que la vitesse sous les prises des manomètres soit égale à la vitesse moyenne ( $v$ ), donc en ajoutant aux indications des manomètres la valeur pleine  $\frac{v^2}{2g}$ , on constatera que même cette hypothèse défavorable conduit à des rendements réels dépassant encore largement les valeurs garanties (fig. 1).

La puissance développée par la turbine était absorbée par l'alternateur directement accouplé, qui débitait sur une résistance hydraulique à phases équilibrées. Cette résistance placée directement sous la tension fournie par l'alternateur, c'est-à-dire 6500 volts, était constituée par trois plaques en fer triangulaires plongeant dans une masse d'eau continuellement renouvelée, contenue dans une cuve en béton. Le réglage de la puissance absorbée s'effectuait directement du tableau à l'aide d'un treuil à mains qui permettait d'augmenter ou de diminuer à volonté la surface immergée de la résistance.

Pour déterminer avec toute l'exactitude désirable la puissance débitée par l'alternateur, nous avons utilisé aussi les groupes d'appareils des alternateurs I et II ; nous avons ainsi trois jeux complets d'appareils se contrôlant mutuellement, chaque jeu comprenant un wattmètre, trois ampèremètres, un voltmètre et un phase-mètre. Enfin la fréquence ainsi que la tension et le courant de l'excitatrice furent aussi relevés. Les indications des wattmètres contrôlèrent ainsi celles fournies par la formule  $N = \frac{\Sigma(I) \times E \times \cos \varphi}{\sqrt{3}}$  où  $I$  = nombre d'ampères dans chacune des trois phases et  $E$  = tension composée.

La puissance moyenne fournie à l'alternateur par la turbine est donc la moyenne des valeurs fournies par trois wattmètres et des valeurs correspondantes calculées.

ESSAI N°	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮	⑯	⑰	⑱	⑲	⑳	㉑	㉒	㉓	㉔	㉕
LECTURE MANOMÈTRES MOYENNES		5)	6)	7)	8)	9)	10)	11)	12)	13)	14)	15)	16)	17)	18)	19)	20)	21)	22)	23)	24)	25)	26)	27)	28)
CHUTE BRUTE		M.	HP.	K.W.	%	HP.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.
PUISSANCE FONDÉE PAR LA TURBINE		HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%	HP.	K.W.	%
PUISSANCE RENDIMENT ELECTRIQUE		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
CHUTE NETTE MOYENNE		M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.
CHUTE MOYENNE		M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.
Q <sup>3</sup> MOULINET		m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	m <sup>3</sup> /sec.	
VITESSE SOUS LA PRES. DES MANOM.		m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.	m/m.
0.8 V <sup>2</sup> M.		m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.	m.
CHUTE EFFECTIVE		H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.
PUISSANCE ABSORBÉE TURBINE		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
Q <sup>2</sup> H=34 m		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
NOMBRE TOURS.																									
V <sup>2</sup> M.																									
CHUTE EFFECTIVE		H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.	H. eff.
PUISSANCE ABSORBÉE TURBINE		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
Q <sup>1</sup> H=34 m		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
RENDIMENT TURBINE		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
PUISSANCE ABSORBÉE TURBINE		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
Q <sup>1</sup> H=34 m		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
RENDIMENT TURBINE		%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
PUISSANCE ABSORBÉE TURBINE		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
Q <sup>1</sup> H=34 m		HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.	HP.
2	10° 11'	1602.65	95.2	2292	35.696	27.730	6.993	34.723	5.735	3.73	0.454	35.176	2690	85.2	2180	5.635	2180	84.6	2156	5.618	2156	84.6	2156	5.618	
3	11° 12'	2213.5	96	3140	35.508	26.932	6.890	33.822	7.610	4.94	0.795	34.617	3510	89.5	3065	7.550	3065	88.2	3010	7.500	3010	88.2	3010	7.500	
4	12° 12'	2611.7	96	3710	35.300	25.855	6.755	32.610	9.775	6.35	1.315	33.925	4420	83.9	3730	9.850	3730	82.2	3610	9.085	3610	82.2	3610	9.085	
5	14° 05'	1175.2	93.7	1707	35.682	28.033	7.090	35.123	4.465	2.90	0.274	35.397	2108	81.	1605	4.370	1605	80.7	1596	4.365	1596	80.7	1596	4.365	
6	15° 02'	753.1	90	1138	35.809	28.327	7.169	35.496			0.151								1055						
7	15° 05'	1958.5	95.7	2781	35.522	27.202	6.982	34.184			0.618								2645						
7 bis	15° 15'	2069.8	95.8	2938	35.437	27.060	6.965	34.025			0.695								2802						
8	15° 16'	2424.1	96	3440	35.205	26.272	6.854	33.126			0.989								3342						
9	16° 16'			81.6	35.676	28.415	7.242	35.657											76						
10	16° 25'			34	35.758	28.465	7.302	35.767											31.5						

Fig. 3.

lées d'après la formule ci-dessus pour chaque groupe d'appareils.

Nous n'avons pas déterminé à nouveau, lors de ces essais, les rendements de l'alternateur lui-même, les valeurs adoptées, garanties par le constructeur électricien, ayant été trouvées conformes lors des essais de l'alternateur en atelier. Ces valeurs sont reproduites dans la fig. 1 et au tableau résumé (fig. 3).

On a procédé à quatre jaugeages qui correspondent approximativement à la puissance totale, soit  $\frac{8}{8}$  ainsi qu'aux charges de  $\frac{7}{8}$ ,  $\frac{5}{8}$  et  $\frac{4}{8}$  de cette puissance totale; en outre, pour déterminer exactement l'allure de la courbe de puissance, six autres valeurs sans jaugeage ont été relevées allant de la marche à vide, avec et sans excitation, à une charge à peu près complète. Les trois éléments, débit absorbé, puissance et chute nette une fois reconnus, il était facile d'en déduire les valeurs résumées dans le tableau fig. 3.

Les valeurs des puissances, débits et rendements, qui figurent dans les colonnes 6, 11 et 16 de ce tableau caractérisent la turbine pour les chutes nettes correspondantes de la colonne 14. Ces valeurs doivent être ramenées à la chute nette de 34 mètres, pour laquelle les garanties ont été données; on trouvera ces nouvelles valeurs dans les colonnes 17, 18 et 16, lorsque la chute effective comprend  $0,8 \frac{v^2}{2g}$ ; en outre, les colonnes 24, 25 et 23 indiquent les valeurs correspondantes lorsque cette chute est augmentée de  $\frac{v^2}{2g}$ .

Tous les résultats d'observations ou de mesures ont été protocoles sur place en double exemplaire, dont l'un nous fut remis, l'autre étant entre les mains du fournisseur.

Nous ajouterons, pour être complets, que la turbine essayée fonctionnait déjà depuis 17 mois et que nous n'avons observé jusqu'à ce jour aucune trace sensible d'usure ou de corrosion, malgré l'eau chargée de sable dont nous disposons à certaines époques de l'année.

Les mises en parallèle des divers groupes entre eux sont des plus faciles, et la vitesse de régime est remarquablement stable malgré les conditions très défavorables dues à la grande longueur de la conduite d'aménée.

A ces essais, la ville de Lausanne avait délégué M. Chastellain, ingénieur en chef du Service des Eaux, ainsi que le soussigné. Le fournisseur était représenté par M. Neeser, ancien professeur à l'Ecole d'ingénieurs de Lausanne, actuellement directeur des Ateliers des Charmilles S. A. à Genève, qui, en qualité d'ancien directeur des Ateliers Piccard, Pictet et C<sup>ie</sup>, avait dirigé la construction des turbines. En outre, chacune des parties s'était fait assister de ses ingénieurs et du personnel nécessaire.

Le Chef du Service de l'Electricité de la ville de Lausanne:

A. DE MONTMOLLIN.