Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens

Herausgeber: Association suisse des électriciens

Band: 48 (1957)

Heft: 3

Rubrik: Communications ASE

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: 22.08.2025

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

Suite de la page 102

Règles suisses pour les turbines hydrauliques (Suite)

II. Instruments — 42. Mise à disposition et étalonnage

III. Frais — 43. Généralités
44. Dispositifs spéciaux
45. Etalonnage
46. Répétition des essais

IV. Travaux préparatoires — 47. Plans
48. Installations hydrauliques
49. Revisions
50. Relevé des ouvertures

V. Mesures — 51. Technique des mesures

VI. Exécution des mesures — 52. Installations provisoires
53. Essais préliminaires
54. Résultats provisoires
55. Procès-verbal
56. Résultats définitifs
57. Rapport final

VII. Conditions d'essais particulières aux mesures de la puissance et du rendement — 58. Chute
59. Vitesse de rotation
60. Puissance

Deuxième partie:

Règles spéciales relatives à la technique des mesures

A. Généralités — 61. But
62. Domaine d'application
63. Exécution

B. Grandeurs à mesurer — 64. Généralités

C. Règles concernant les mesures

I. Débit

a) Généralités — 65. Dispositions générales concernant les essais
66. Méthode
67. Application
68. Emplacement de mesure
69. Apports et fuites d'eau
70. Débits de fuite

b) Moulinets — 71. Généralités
72. Emplacement de la section de jaugeage dans un canal
73. Répartition des vitesses
74. Installations
75. Dimensions minima
76. Limites de vitesse
77. Types de moulinets
78. Fixation des moulinets
79. Ecoulement oblique
80. Disposition échelonnée
81. Etalonnage
82. Nombre des moulinets
83. Nombre des points de mesure
84. Jaugeage en conduite forcée
85. Répartition des points de mesure
86. Distance entre l'axe des moulinets, les parois et le niveau libre
87. Mesure du temps
88. Durée de la mesure
89. Hauteur d'eau
90. Exécution
91. Pulsations
92. Interprétation des résultats
93. Zone périphérique
94. Succession des intégrations
95. Conduite forcée
96. Jaugeage par intégration directe

c) Déversoir — 97. Application
98. Déversement parfait
99. Limites d'application
100. Déversoir rectangulaire sans contraction latérale
101. Déversoir rectangulaire avec contraction latérale
102. Formes spéciales du déversoir
103. Emplacement du déversoir
104. Canal de mesure, à l'amont du déversoir
105. Canal de fuite, à l'aval du déversoir
106. Installation
107. Paroi du déversoir
108. Crête du déversoir
109. Aération du déversoir
110. Régularisation de l'écoulement
111. Répartition des vitesses
112. Charge sur la crête
113. Dispositif de mesure
114. Repérage du zéro du limnimètre
115. Calcul du débit
116. Formule générale pour le calcul du débit
117. Coefficient de débit selon la SIA pour déversoir sans contraction latérale
118. Formule de Rehbock (1929) pour déversoir sans contraction latérale
119. Coefficient de débit selon la SIA pour déversoir avec contraction latérale

d) Réservoir étalonné — 120. Généralités
121. Précision
122. Recommandations générales
123. Forme du réservoir
124. Etalonnage
125. Mesure
126. Limites d'emploi

e) Tuyères de turbines — 127. Généralités

f) Méthode des pesées — 128. Généralités
129. Précision

g) Ecran mobile — 130. Généralités
131. Dispositif de mesure
132. Précision

h) Compteur Venturi — 133. Généralités

i) Tuyères et diaphragmes normalisés — 134. Généralités

k) Sondes — 135. Généralités

l) Méthode d'Allen — 136. Procédé
137. Généralités

m) Méthode de Gibson — 138. Procédé
139. Généralités

n) Titration — 140. Procédé
141. Généralités

o) Méthode thermodynamique (Mesure de la température) — 142. Procédé

p) Détermination de l'erreur — 143. Méthode

II. Chute nette

a) Généralités — 144. Nivellement
145. Nombre des lectures
146. Vide

	b) Mesures manométriques	147. Généralités 148. Section de mesure 149. Prises manométriques 150. Tubulures de liaison 151. Appareil de mesure 152. Etalonnage 153. Influence de la différence de pression barométrique et de la compressibilité de l'eau
	c) Niveaux libres	154. Emplacement de mesure 155. Niveau dans le canal de fuite 156. Dispositifs de mesure
III. Puissance de la turbine		
	a) Généralités	157. Méthode
	b) Rendement de la génératrice	158. Définition 159. Pertes totales 160. Mesure des pertes
	c) Puissance aux bornes	161. Emplacement de mesure 162. Appareils de mesure
	d) Freinage mécanique	163. Généralités 164. Charge additionnelle 165. Arbre secondaire
	e) Puissances perdues	166. Régulateur 167. Pertes par ventilation 168. Pertes de transmission 169. Divers
IV. Vitesse de rotation		170. Mesure électrique de la puissance (mesure indirecte) 171. Freinage (mesure directe de la puissance)
V. Variations de vitesse		172. Généralités
VI. Variations de pression		173. Généralités 174. Appareils de mesure

Appendice

Liste des ouvrages et articles cités
Autres ouvrages et articles

Avant-propos de la première édition

(Extrait)

Les présentes Règles suisses pour les turbines hydrauliques ont été établies par le Comité Technique 4, Turbines hydrauliques, du Comité Electrotechnique Suisse (CES), à la suite d'un travail de plusieurs années. Ce comité technique avait été composé de manière à assurer la collaboration de tous les milieux intéressés, notamment des écoles, du Service fédéral des eaux compétent pour les mesures hydrauliques, des entreprises électriques en leur qualité de clients et des constructeurs de turbines hydrauliques en leur qualité de fournisseurs.

Ces règles reposent sur la longue expérience des entreprises hydroélectriques et des constructeurs suisses, qui livrent des turbines hydrauliques dans le monde entier. Il a également été tenu compte, dans la mesure du possible, des règles déjà établies dans d'autres pays au sujet des turbines et des installations hydrauliques. Quant aux règles relatives aux mesures, elles sont basées en partie sur les Normes de la Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes concernant les mesures hydrauliques (1924).

Contrairement aux autres règles de l'ASE, ces règles pour les turbines hydrauliques renferment en outre des dispositions légales et financières. Le CES estimait, en effet, qu'il serait utile d'introduire, à titre d'essai, des dispositions contractuelles dans les règles de l'ASE.

L'Association Suisse des Electriciens prie les intéressés de lui communiquer les observations auxquelles pourrait donner lieu l'application des présentes règles.

Ces Règles de l'ASE ont été adoptées comme Normes de la SIA par l'Assemblée des délégués de la Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes du 30 août 1947.

Association Suisse des Electriciens
Le Secrétariat

Avant-propos de la deuxième édition

Cette deuxième édition du texte français des «Règles suisses pour les turbines hydrauliques» est une édition complètement remaniée, conformément à la troisième édition en langue allemande qui paraît en même temps. Elle comporte toute une série de modifications d'ordre matériel et rédactionnel, de manière que ces Règles suisses contribuent pour leur part à la création de Recommandations internationales.

Les modifications essentielles concernent les points suivants:

Le chiffre 30 (Rendement) a une nouvelle teneur et a été considérablement élargi. En outre, ces Règles ont été complétées par un nouveau chiffre 41 (Mesures sur modèle réduit), qui expose l'importance des mesures sur modèle réduit pour les essais de réception. De même, le chiffre 72 (Emplacement de la section de jaugeage dans un canal), ainsi que le chiffre 79 (Ecoulement oblique), ont été complètement remaniés et le chiffre 142 (Procédé selon la méthode thermométrique) a été modifié en tenant compte des expériences faites jusqu'ici. Le chiffre 155 (Niveau dans le canal de fuite) a été sensiblement élargi, afin de tenir compte des différents modes de montage des turbines. Le chiffre 167 (Pertes par ventilation) fait maintenant état des publications parues dans le Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens au sujet des importants essais entrepris par l'Institut des machines et installations hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale sur les pertes par ventilation de volants, poulies, accouplements et disques, ainsi que de roues de turbines Pelton. Les résultats de ces essais ont permis d'établir des formules à l'aide desquelles les pertes par ventilation des roues tournantes peuvent être calculées avec une précision pratiquement suffisante.

Association Suisse des Electriciens
Le Secrétariat

Ces Règles ont également paru en allemand

These Rules have also been published in English

Estas Reglas han sido también publicadas en español

Règles suisses pour les turbines hydrauliques

Première partie: Règles générales

A. Généralités

1. Domaine d'application

Les présentes Règles s'appliquent aux turbines hydrauliques en chambre ouverte ou en bâche, de tous les types actuellement en usage, destinées à fonctionner avec de l'eau propre, notamment:

a) *aux turbines à réaction:* Francis,
à hélice,
Kaplan,

b) *aux turbines à action:* Pelton,
comme aussi, par analogie, aux turbines d'anciens types (Henschel, Jonval, Girard, par exemple).

Ces règles sont également applicables par analogie:

c) *aux pompes centrifuges* refoulant de l'eau froide.

2. But

Ces Règles ont pour but de définir d'une façon uniforme les données d'exploitation et les garanties qui doivent être précisées lors de la commande de turbines hydrauliques, ainsi que les grandeurs nécessaires au contrôle de ces garanties et, enfin, de fixer le mode de calcul et de mesure des dites grandeurs.

Ces Règles ne s'appliquent ni aux dispositions constructives des turbines, ni aux questions de résistance mécanique de leurs éléments.

B. Grandeurs et symboles

3. Table des grandeurs de mesure

Symbole de la grandeur	Désignation et remarques	Symbole de l'unité
γ	Poids spécifique de l'eau (à + 4 °C et p abs. = 1 kg/cm²: γ = 1000 kg/m³)	kg/m³; kg/dm³
g	Accélération due à la pesanteur (9,81 m/s²)	m/s²
v	Vitesse de l'eau	m/s
H	Chute	m
p	Pression	kg/cm²; kg/m²
Q	Débit: quotient du volume d'eau écoulé par le temps correspondant	m³/s dm³/s (lit./s)
P	Puissance (1 kW = 102,0 kgm/s = 1,359 ch) (1 ch = 75 kgm/s = 0,7355 kW)	kW (ch)
n	Vitesse de rotation	1/min (t./min)
η	Rendement	1; %

C. Définitions

I. Généralités

4. Aménagements hydrauliques

Les aménagements hydrauliques d'une usine hydroélectrique comprennent essentiellement:

a) Ouvrages de prise d'eau, barrage fixe ou mobile, bassin de retenue;

b) Ouvrages d'amenée à la turbine (canal ou galerie de dérivation, chambre de mise en charge, conduite forcée, obturateurs);

c) Chambre ouverte ou fermée, spirale ou pseudo-spirale en béton;

d) Tube d'aspiration en béton, canal de fuite.

5. Turbine

La turbine comprend, selon le type, les éléments suivants:

a) Bâche-spirale, bâti;

b) Distributeur, injecteur à pointeau, orifice compensateur, déflecteur;

c) Roue mobile, arbre, paliers;

d) Tube d'aspiration;

e) Dispositif de réglage.

II. Régime nominal

6. Définition

Le régime nominal d'une turbine est caractérisé par les grandeurs d'exploitation indiquées par le fournisseur: valeurs nominales de la chute H_n, du débit Q_n, de la puissance P_n, de la vitesse de rotation n_n, etc., conformément aux indications de la plaque signalétique (voir au chiffre 24).

III. Chute

7. Définitions générales

a) La chute totale disponible d'une installation hydraulique est la différence de niveau entre le plan d'eau d'amont et le plan d'eau d'aval du parcours concessionné.

b) La chute nette H est la différence de niveau des lignes d'énergie à l'amont et à l'aval de la turbine (fig. 1...11).

c) La chute nominale H_n est la chute nette pour laquelle la turbine est calculée.

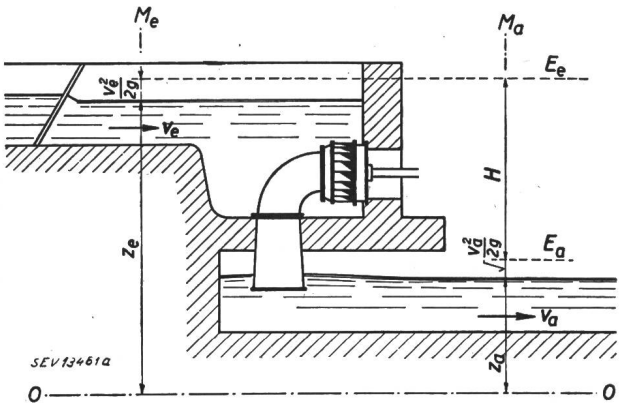

Fig. 1

Turbine à réaction (Francis, à hélice, Kaplan)

Chambre d'eau ouverte. Arbre horizontal

Tube d'aspiration en tôle

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$

8. Généralités concernant la notion de chute nette

a) La chute nette est celle sous laquelle fonctionne réellement la turbine proprement dite.

b) Pour établir la chute nette, on déterminera la cote des lignes d'énergies à l'amont et à l'aval de la turbine.

La cote de la ligne d'énergie, à l'amont de la turbine, sera déterminée aux emplacements suivants:

pour les turbines en chambre d'eau ouverte, après la grille;

pour les turbines à bâche fermée, après la vanne d'arrêt à l'entrée de la bâche ou de l'injecteur.

c) La hauteur cinétique sera calculée pour la même section que celle dans laquelle la chute est mesurée.

d) Pour la détermination de la cote de la ligne d'énergie à l'aval de la turbine, voir chiffre 155.

9. Définitions particulières

Les figures 1 à 11 indiquent, pour les types et les dispositions de turbines actuellement en usage, les données nécessaires à la mesure et au calcul de la chute nette H.

La différence dans la position des prises de mesure des fig. 8 et 9 s'explique par le fait que, dans les deux cas, la pression doit être mesurée immédiatement avant la traversée des injecteurs par la tige du pointeau.

Croquis illustrant les définitions mentionnées au chiffre 9

M_e Section de mesure à l'arrivée de l'eau
M_a Section de mesure à la sortie de l'eau
E_e Ligne d'énergie avant la turbine
E_a Ligne d'énergie après la turbine
} voir fig. 1...11

Chute nette $H = E_e - E_a$

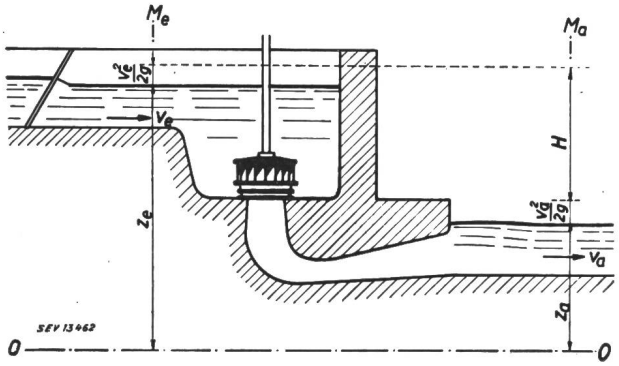

Fig. 2
Turbine à réaction
Chambre d'eau ouverte. Arbre vertical
Tube d'aspiration

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$

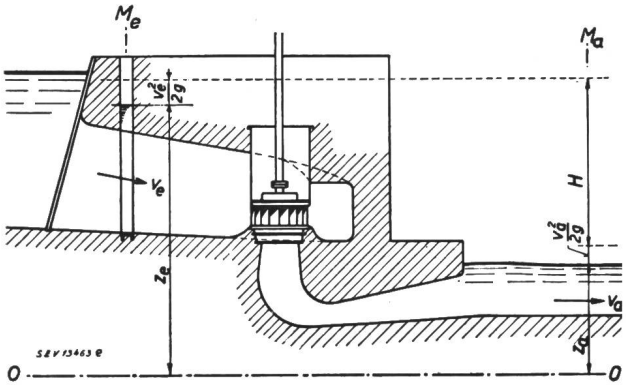

Fig. 3
Turbine à réaction
Bâche-spirale en béton. Arbre vertical
Tube d'aspiration

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$

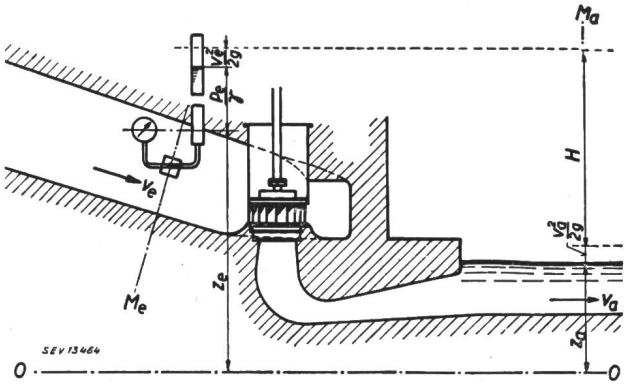

Fig. 4
Turbine à réaction
Bâche-spirale en béton. Arbre vertical
Tube d'aspiration

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$

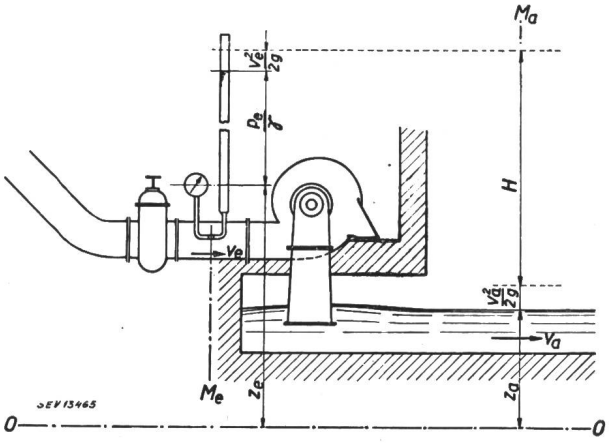

Fig. 5
Turbine à réaction
Bâche-spirale métallique. Arbre horizontal
Tube d'aspiration en tôle

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$

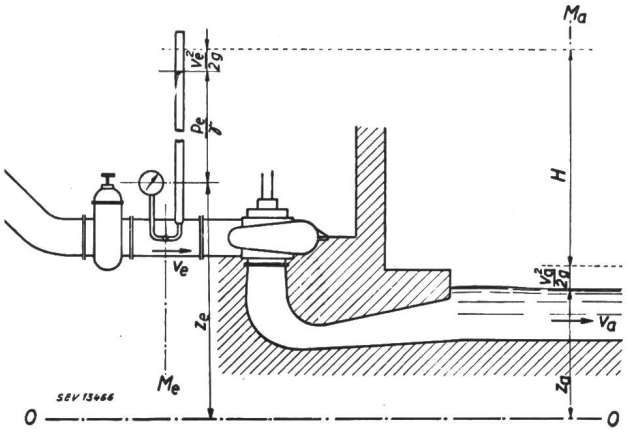

Fig. 6
Turbine à réaction
Bâche-spirale métallique. Arbre vertical
Tube d'aspiration

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2 - v_a^2}{2g}$

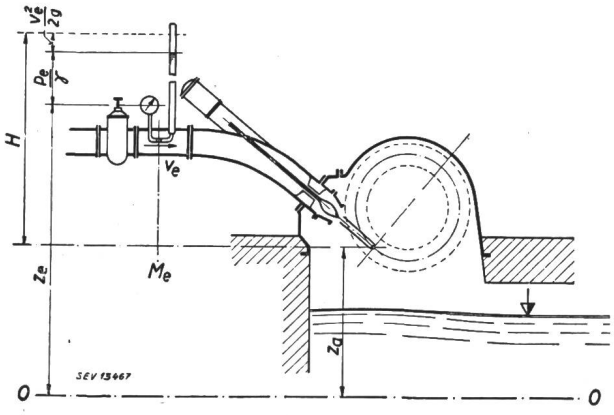

Fig. 7
Turbine à action (Pelton)
A un injecteur. Arbre horizontal

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g}$

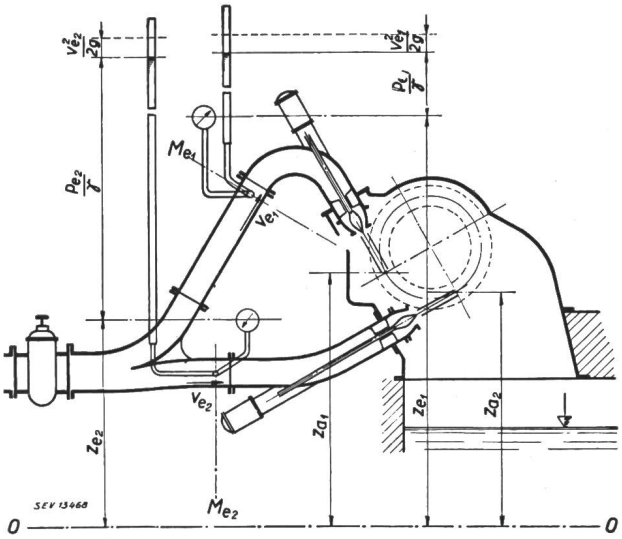

Fig. 8

Turbine à action

A deux injecteurs. Arbre horizontal

Chute nette

$$H = \frac{Q_1\left[z_{e1} - z_{a1} + \frac{p_{e1}}{\gamma} + \frac{v_{e1}^2}{2g}\right] + Q_2\left[z_{e2} - z_{a2} + \frac{p_{e2}}{\gamma} + \frac{v_{e2}^2}{2g}\right]}{Q_1 + Q_2}$$

Moyenne pondérée pour les deux injecteurs

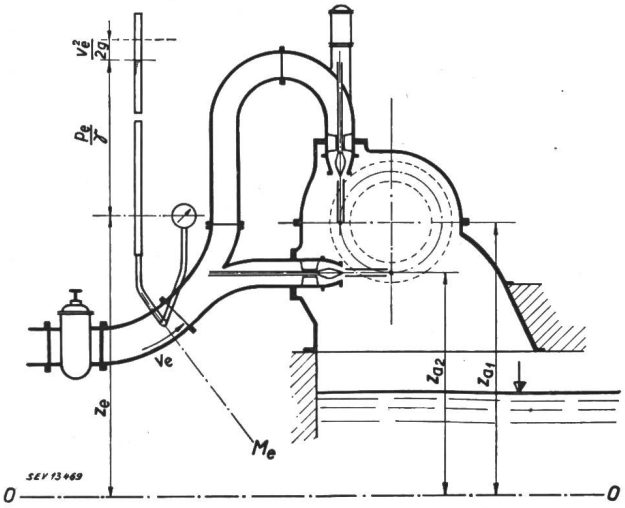

Fig. 9

Turbine à action

A deux injecteurs. Arbre horizontal

Chute nette $H = \frac{Q_1(z_e - z_{a1}) + Q_2(z_e - z_{a2})}{Q_1 + Q_2} + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g}$

Moyenne pondérée pour les deux injecteurs

10. Dispositions particulières d'installation

a) Lors de la détermination de la chute nette, il y a lieu de tenir compte des conditions souvent défavorables des aménagements hydrauliques (surtout lorsqu'il s'agit de transformations) et de préciser, si possible à la commande, le mode de mesure de la chute.

b) S'il s'agit d'anciens types de turbines (turbines à libre déviation hydropneumatisées, par exemple), la détermination de la chute nette devra se faire en tenant compte des conditions particulières de l'installation.

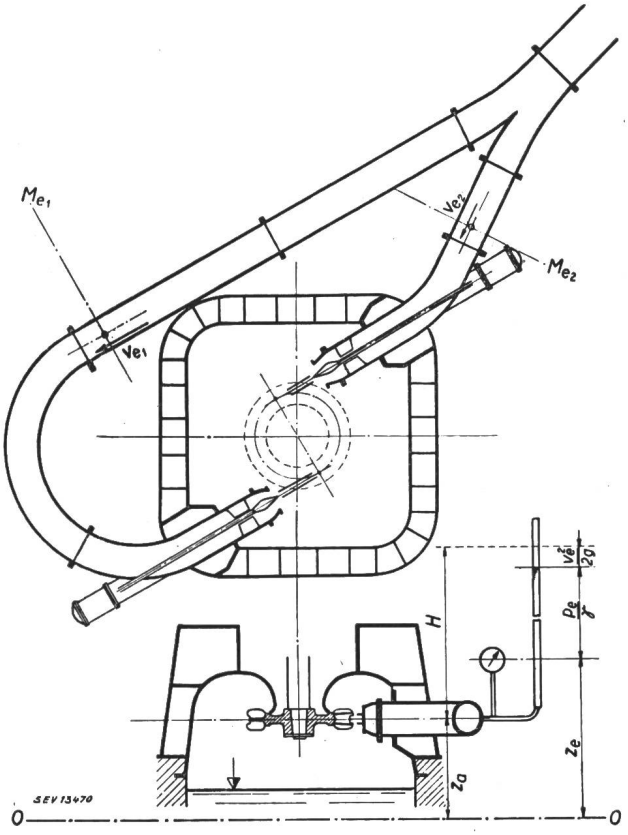

Fig. 10

Turbine à action

A deux injecteurs. Arbre vertical

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{Q_1\left[\frac{p_{e1}}{\gamma} + \frac{v_{e1}^2}{2g}\right] + Q_2\left[\frac{p_{e2}}{\gamma} + \frac{v_{e2}^2}{2g}\right]}{Q_1 + Q_2}$

Moyenne pondérée pour les deux injecteurs

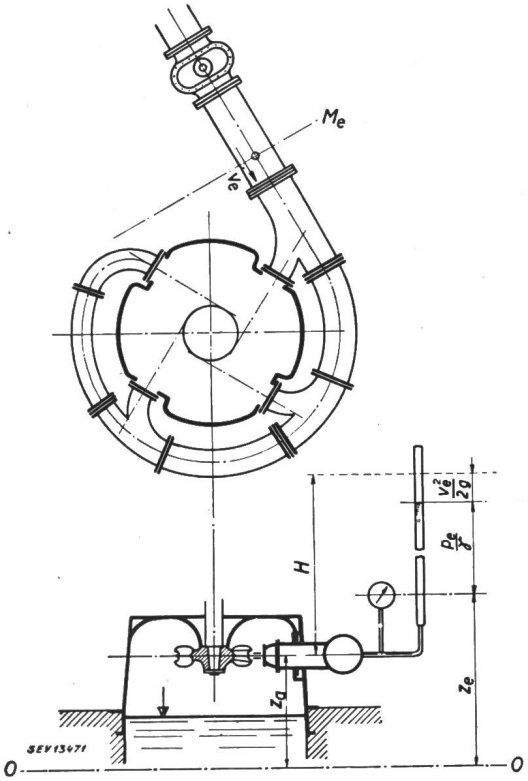

Fig. 11

Turbine à action

A quatre injecteurs. Arbre vertical

Chute nette $H = z_e - z_a + \frac{p_e}{\gamma} + \frac{v_e^2}{2g}$

IV. Débit

11. Définition

Le débit de la turbine est le débit total nécessaire au fonctionnement de celle-ci, compte tenu des pertes indiquées sous chiffre 12.

Le débit nominal Q_n est le débit pour lequel la turbine est calculée.

12. Pertes de débit

a) Les fuites aux joints de la roue mobile, celles des labyrinthes et des presse-étoupe sont à la charge de la turbine.

b) Le débit d'eau nécessaire au refroidissement des paliers de la turbine n'est pas à la charge de celle-ci.

c) Le débit d'eau nécessaire au refroidissement du régulateur et à son fonctionnement n'est pas à la charge de la turbine.

d) Le débit d'eau de refroidissement de la génératrice n'est pas à la charge de la turbine.

e) Le débit nécessaire au refroidissement doit être spécifié à la commande.

V. Puissance de la turbine

13. Définition

La puissance de la turbine P_T est la puissance mécanique effectivement disponible sur l'arbre.

La puissance nominale P_{Tn} est la puissance pour laquelle la turbine est calculée et selon laquelle elle est désignée.

14. Pertes de puissance mécaniques

a) Les pertes par frottement dans les paliers de la turbine sont à la charge de celle-ci. Pour les paliers chargés à la fois par la turbine et par la génératrice, en particulier pour les pivots des groupes à axe vertical, seule la part des pertes par frottement qui correspond à la charge des paliers ou des pivots provoquée par la turbine doit être attribuée à celle-ci (voir chiffres 159 et 160).

b) La puissance d'entraînement des pompes de refroidissement des paliers de la turbine n'est pas à la charge de celle-ci (voir en particulier chiffres 159 et 160).

c) La puissance d'entraînement du régulateur n'est pas à la charge de la turbine; elle doit toutefois être spécifiée et garantie lors de la commande.

d) Les pertes dues au volant, par ventilation et frottement dans les paliers, ne sont pas à la charge de la turbine.

e) Les pertes mécaniques résultant de la transmission de la puissance utile, par courroie, engrenages, etc., ne sont pas à la charge de la turbine.

VI. Variations de pression

15. Généralités

a) La variation momentanée de la pression s'entend pour la même section, à l'amont de la turbine, pour laquelle on aura déterminé la cote de la ligne d'énergie (voir chiffre 8, lettre b).

b) Les garanties ne s'appliquent qu'à une seule turbine, branchée sur le système hydraulique à définir lors de la commande, le reste de l'installation étant arrêté. A titre d'information, on indiquera également l'augmentation de pression consécutive à un déclenchement complet de toute l'usine, l'attention du commettant devant en outre être attirée sur le fait que des conditions encore plus défavorables peuvent éventuellement se présenter lors de décharges partielles.

c) Des garanties concernant la valeur des variations de pression, lors de modifications de la charge, ne doivent être fournies que pour des décharges aboutissant à zéro.

d) Les variations de pression provoquées par des prises de charge ne seront données qu'à titre d'information.

16. Définition

L'augmentation relative de pression δ_p qui se produit à la turbine lors d'une décharge est définie par:

$$\delta_p = 100 \frac{p_{max} - p_{stat}}{\gamma \cdot H_{stat}} \text{ en } \%$$

où

p_{max} est la pression maximum qui s'établit momentanément lors d'une décharge,

p_{stat} la pression statique existant au moment de l'essai,

H_{stat} la chute statique (hauteur de chute nette pour $Q = 0$) existant au moment de l'essai.

17. Durées de réglage

Les indications relatives aux temps de manœuvre des organes de réglage et des orifices compensateurs ne sont données qu'à titre d'information.

VII. Vitesse de rotation

18. Définitions

a) La vitesse nominale de rotation n_n est la vitesse pour laquelle la turbine est calculée.

b) La vitesse d'emballement est la vitesse maximum de rotation pouvant être atteinte par la turbine fonctionnant sous la chute nette maximum, lorsque la turbine n'est soumise qu'au couple résistant dû à ses propres pertes. La vitesse d'emballement à indiquer ne tiendra donc pas compte des puissances absorbées par des organes accouplés à la turbine, tels que: génératrices, pompes, régulateurs, etc.

Dans le cas des turbines Kaplan, la vitesse d'emballement à indiquer est celle qui correspond à la position réciproque des aubes du distributeur et de celles de la roue mobile qui donne lieu à la vitesse de rotation la plus élevée, ce qui suppose que l'asservissement entre distributeur et roue est hors service.

c) S'il a été convenu de procéder à un essai d'emballement de la roue mobile, cet essai aura lieu, pendant 2 minutes, à la vitesse d'emballement.

19. Sens de rotation

a) Conformément aux Règles de l'ASE pour les machines électriques tournantes, le sens de rotation des turbines est réputé «à droite» s'il correspond à celui des aiguilles d'une montre et «à gauche» dans le cas contraire.

b) Le sens de rotation des turbines est déterminé comme suit:

1° C'est celui que constate l'observateur qui, étant placé du côté moteur (côté accouplement) regarde vers la turbine.

2° Si la notion côté moteur (accouplement) est ambiguë, le sens de rotation de la turbine sera fixé par convention, de préférence au moyen d'un croquis.

c) Les volants à main, comme aussi les leviers de commande des régulateurs et des organes de fermeture, doivent toujours être manœuvrés «à droite», lorsqu'ils doivent provoquer une «fermeture» des organes correspondants.

VIII. Variations de vitesse [1])

20. Définitions

a) La différence relative permanente de vitesse est définie par:

$$\delta_n = 100 \frac{n_0 - n}{n_n} \text{ en } \%$$

où

n_0 est la vitesse de rotation de la génératrice excitée, mais non chargée,

n la vitesse de rotation de la génératrice sous charge,

n_n la vitesse nominale de rotation.

Eu égard à son importance pour les systèmes modernes d'interconnexion des réseaux et les réglages à distance de la charge, la loi de variation de δ_n en fonction de la variation de la puissance pourra être exigée à titre d'information.

[1]) Voir également [Lit. 8] de la liste à l'appendice.

La différence relative permanente de vitesse $\delta_{n\,pl}$ [statisme total [2])] pour l'ouverture maximum du vannage qui puisse être utilisée avec la chute existante, est définie par:

$$\delta_{n\,pl} = 100\,\frac{n_0 - n_{pl}}{n_n} \text{ en } \%$$

où

n_0 est la vitesse de rotation de la génératrice excitée, mais non chargée,

n_{pl} la vitesse de rotation pour l'ouverture maximum de vannage qui puisse être utilisée avec la chute existante,

n_n la vitesse nominale de rotation.

Pour la puissance garantie de la turbine, la vitesse de rotation est généralement supérieure à n_{pl}, en raison de la capacité de surcharge des turbines.

b) L'augmentation relative momentanée de vitesse δ_{nt} qui se produit lors d'une diminution de la charge est définie par:

$$\delta_{nt} = 100\,\frac{n_{max} - n_{avant}}{n_n} \text{ en } \%$$

où

n_{max} est la vitesse maximum atteinte momentanément lors d'une diminution de la charge,

n_{avant} la vitesse de régime avant la diminution de la charge,

n_n la vitesse nominale de rotation.

21. Dispositions concernant la garantie

a) Les valeurs garanties pour l'augmentation relative momentanée de vitesse δ_{nt} ne s'appliquent qu'à une seule turbine, branchée sur le système hydraulique à définir lors de la commande, le reste de l'installation étant arrêté.

b) Ces valeurs garanties seront accompagnées de l'indication de la chute nette pour laquelle elles sont données.

c) Ces garanties ne seront données que pour des décharges aboutissant à zéro.

d) Les données concernant les prises de charge n'auront qu'un caractère d'information.

e) On tiendra compte, lors de l'appréciation du fonctionnement du régulateur de la turbine, des variations périodiques de la vitesse dues à des variations de pression résultant d'une chambre d'équilibre insuffisante ou au fonctionnement d'un régulateur de tension.

f) Dans le cas où un «pompage» (oscillations périodiques non amorties) interviendrait, les fournisseurs de la turbine et de la génératrice chercheront, en collaboration avec le client, à établir les causes de cette perturbation; ils arrêteront en commun les mesures à prendre pour l'éliminer ainsi que l'attribution des frais que ces mesures entraîneront.

IX. Rendement

22. Définition

Le rendement η_T est défini par le rapport entre la puissance de la turbine P_T et la puissance disponible P_d fournie à la turbine:

$$\eta_T = 100\,\frac{P_T}{P_d} \text{ en } \%$$

(En ce qui concerne les pertes de débit et les pertes de puissance, voir chiffres 12 et 14.)

La puissance disponible P_d se calcule à l'aide de l'expression suivante, qui tient compte du débit de la turbine et de la chute nette:

$$P_d = \frac{\gamma\,Q\,H}{102} \text{ en kW}$$

où Q est exprimé en m³/s, H en m et γ en kg/m³.

23. Rendement moyen

a) Pour déterminer le rendement moyen, il y a lieu de dessiner la courbe des rendements mesurés (selon le chiffre 56) en fonction de la puissance P_T de la turbine. Le rendement moyen est la moyenne arithmétique des ordonnées de cette courbe, qui correspondent aux différentes puissances garanties.

[2]) Voir chapitre IV des Recommandations au sujet du réglage de vitesse des groupes turbine hydraulique-alternateur, Publ. n° 0205 de l'ASE [Lit. 8].

b) Le rendement moyen pondéré sera calculé, arithmétiquement, de la même façon.

X. Plaque signalétique

24. Inscriptions

a) Chaque turbine doit porter une plaque signalétique.

b) Sur cette plaque figureront, d'une manière lisible et durable, les indications suivantes:

	Valeurs nominales de:
Nom du fournisseur	Chute
Année de construction	Débit
Numéro de fabrication	Puissance
	Vitesse de rotation
	Vitesse d'emballement

c) Exemple d'une plaque signalétique:

NOM DU FOURNISSEUR	
Année....	N° de fabr.....
Chute	m
Débit	m³/s
Puissance	kW
Vitesse	/min
Vitesse d'emballement . . .	/min

D. Dispositions contractuelles

I. Généralités

25. Egalité de droit des deux parties contractantes

Les relations entre le client et le fournisseur seront basées sur le principe de l'égalité de droit des deux parties contractantes.

26. Responsabilité

Le fournisseur n'est en aucun cas responsable des valeurs nominales de la chute et du débit servant de base aux garanties, même s'il a procédé lui-même aux relevés nécessaires à l'établissement du projet.

27. Primes et pénalités de rendement

Si des pénalités sont stipulées dans la commande, des primes de même ampleur devront être également prévues. Le calcul des primes et des pénalités se fera, par tranches de 0,1 % (absolus), d'après la courbe de rendement établie conformément aux chiffres 23 et 56, en tenant compte de la tolérance admise pour la mesure (voir chiffre 30).

28. Rendement de la génératrice

a) Le client procurera au fournisseur de la turbine, si celui-ci le demande, le droit d'assister à ceux des essais de réception de la génératrice qui ont une influence sur la détermination du rendement de celle-ci; dans ce cas, le fournisseur de la génératrice invitera celui de la turbine à assister à ces essais.

Si le fournisseur de la turbine n'assiste pas aux essais de la génératrice, une copie du procès-verbal original des essais de réception de cette machine devra lui être adressée.

b) Dans le cas où les dispositions du paragraphe 28 a) ci-dessus ne seraient pas appliquées et si le fournisseur de la turbine demande que l'on procède à des essais de rendement de la génératrice, les frais de ces essais ne seront à la charge du dit fournisseur que si les rendements mesurés atteignent ou dépassent ceux qui lui auront été préalablement communiqués.

II. Tolérances

29. Puissance

a) Le fournisseur est libre de désigner comme puissance maximum une puissance réellement atteinte, qui dépasse la valeur nominale, et de l'utiliser pour le calcul du rendement moyen, à la condition que cette puissance ne soit pas de plus de 10 % supérieure à la valeur nominale. Le fournisseur peut choisir cette puissance maximum de manière à réduire les pénalités au minimum. Si les rendements mesurés conduisent à des primes, la puissance maximum sera choisie de manière à réduire ces primes au minimum.

b) Si la puissance nominale n'est pas atteinte, la tolérance sera de — 2 % de la valeur nominale.

Si l'imprécision de la mesure électrique est extrêmement grande, la tolérance pour la puissance mesurée doit être augmentée en conséquence (voir également chiffre 162 d).

30. Rendement

Les mesures techniques sont affectées d'erreurs provenant des conditions locales, des propriétés des instruments utilisés et des imprécisions d'ordre subjectif. La somme des erreurs, qui peuvent être en partie compensées par le calcul des probabilités, doit être considérée comme *erreur de mesure* lors de la comparaison des rendements mesurés avec les valeurs garanties.

En principe, il est possible de calculer séparément, dans chaque cas, l'erreur totale probable de mesure, en tenant compte des différentes erreurs. Les observations faites au cours de nombreuses années montrent que l'erreur totale de mesure est d'environ ± 2 % avec les instruments actuels et pour une exécution des mesures selon les règles de l'ASE.

Compte tenu de cette erreur de mesure, la tolérance pour le rendement mesuré est fixée à ± 2 % (pourcents absolus ou «points»).

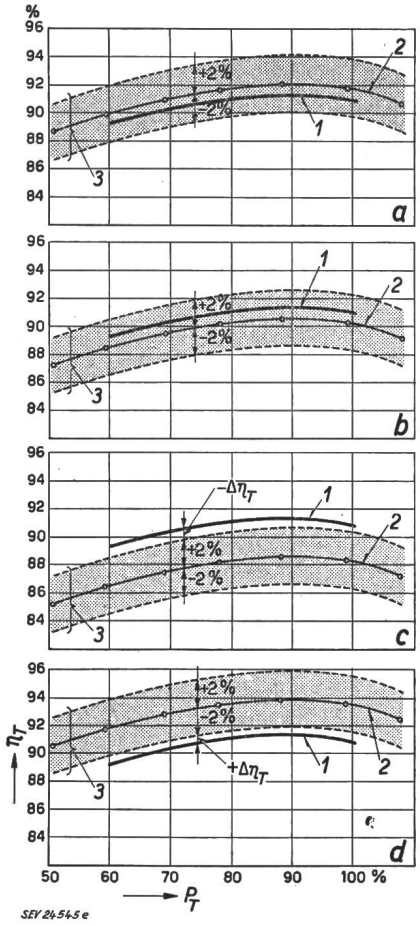

Fig. 12

Comparaison des résultats des mesures avec les valeurs garanties et application de la tolérance pour la mesure du rendement

1 Courbe des rendements garantis
2 Courbe des rendements mesurés
3 Bande de tolérance de ± 2 % absolus

a La courbe des valeurs garanties est un peu inférieure à celle des valeurs mesurées, mais demeure dans la bande de tolérance de ± 2 %, ce qui ne donne pas lieu à une prime.

b La courbe des valeurs garanties est un peu supérieure à celle des valeurs mesurées, mais demeure dans la bande de tolérance de ± 2 %, ce qui ne donne pas lieu à une pénalité.

c La courbe des valeurs garanties dépasse la bande de tolérance de ± 2 % pour les valeurs mesurées. La garantie n'est pas remplie; si une pénalité a été stipulée, elle sera calculée d'après $-\Delta\eta_T$.

d La courbe des valeurs garanties n'atteint pas la bande de tolérance de ± 2 % pour les valeurs mesurées. La garantie est remplie; si une prime a été stipulée, elle sera calculée d'après $+\Delta\eta_T$.

Si l'imprécision de la mesure électrique est extrêmement grande, la tolérance pour le rendement mesuré doit être augmentée en conséquence (voir également chiffre 162 d).

La tolérance fixée (± 2 % ou plus) est applicable, en principe, à chaque point de mesure. Lorsqu'une courbe moyenne a été relevée durant les essais (voir chiffre 56 b, c, d), la tolérance peut être directement appliquée à cette courbe, de sorte qu'il en résulte finalement une bande de tolérance. Pour des rendements pondérés, on procédera d'une façon analogue.

Quatre des cas possibles sont représentés, à titre d'exemples, sur la fig. 12. Dans les cas *a* et *b*, la courbe des rendements garantis se trouve à l'intérieur de la bande de tolérance; les garanties concernant le rendement sont donc remplies. Dans le cas *c*, les garanties ne sont pas atteintes; si une pénalité a été stipulée (voir chiffre 27), elle sera calculée d'après la valeur insuffisante $-\Delta\eta_T$. Dans le cas *d*, les garanties sont dépassées; si une prime a été stipulée, elle sera calculée d'après l'excédent $+\Delta\eta_T$.

31. Augmentation de vitesse

Pour l'augmentation relative momentanée de vitesse δ_{nt}, la tolérance est de

1 % (absolu) pour diminutions de charge jusqu'à 50 %,
2 % (absolus) pour diminutions de charge de 100 %,
avec interpolation linéaire entre 50 et 100 %.

32. Augmentation de pression

La tolérance applicable à l'augmentation garantie de pression δ_p, lors de diminutions de la charge, est de + 20 % de la valeur garantie.

33. Refus

Si le rendement moyen mesuré est inférieur de plus de 3 % à la valeur moyenne garantie, après addition de la tolérance, le client a le droit de refuser la livraison. La limite de refus est donc fixée à — 5 % (absolus), pour une tolérance de ± 2 %.

La livraison peut également être refusée si la puissance maximum mesurée est inférieure de plus de 5 % à la valeur de la puissance nominale.

III. Garanties particulières

34. Durée de la période de garantie

La durée de la période de garantie *D* est d'au moins 6 mois pour les petites installations et d'au plus 24 mois pour les grandes installations. Elle doit faire l'objet d'une entente lors de la commande.

35. Début de la période de garantie

La période de garantie *D* commence à partir de la fin de la période d'exploitation d'essai, qui peut durer 1 à 2 jours pour les petites installations et jusqu'à 3 semaines pour les grandes.

36. Retard

Si, pour des motifs qui ne sont pas imputables au fournisseur de la turbine, l'expédition des machines, le montage, la mise en service ou l'exploitation d'essai ne peuvent pas avoir lieu dans les délais prévus, le début de la période de garantie sera reculé en conséquence. Toutefois, toute garantie cessera à l'expiration d'un délai maximum égal à 2 *D*, compté à partir de la mise à disposition de la fourniture dans les ateliers du fournisseur. A l'expiration de ce délai 2 *D*, les obligations commerciales sont automatiquement exigibles. Cependant, avant l'expiration de ce délai 2 *D*, un nouvel accord pourra intervenir au sujet des garanties techniques, le fournisseur ayant droit à une indemnité équitable pour les dépenses supplémentaires qu'il aurait à effectuer.

Le fournisseur n'aura droit qu'au paiement des termes échus qui correspondent à des prestations réellement effectuées.

37. Pièces de rechange et de réserve

Si, durant la période de garantie, une partie essentielle de la machine doit être réparée, modifiée ou remplacée afin de satisfaire aux obligations contractuelles, on renouvellera, pour cette partie seulement, la période de garantie, qui partira de la date de la nouvelle mise en service. Les pièces de réserve comprises dans la fourniture principale sont traitées comme les parties installées de la fourniture, c'est-à-dire

qu'elles cessent d'être garanties à l'expiration de la période de garantie de la fourniture principale, même si elles ne sont utilisées que plus tard.

38. Constructions mobiles et fixes

On entend par parties démontables, c'est-à-dire mobiles, qui ne tombent pas sous la notion de «défauts cachés» au sens du Code Suisse des Obligations, toutes les parties de la fourniture pouvant être enlevées après démontage d'une liaison purement mécanique. Les parties noyées dans le béton sont considérées comme étant des constructions fixes.

E. Essais de réception

I. Généralités

39. Direction

Sauf indications contraires stipulées dans la commande, les essais sont entrepris par le fournisseur, après accord avec le client. Si aucune entente ne peut intervenir, les deux parties s'adresseront à un expert neutre.

L'exécution des essais de réception ne devra être confiée qu'à un personnel compétent.

40. Programme

a) Les essais de réception doivent avoir lieu pendant la période de garantie. La date exacte en sera fixée à la commande ou selon entente ultérieure.

b) L'ampleur des essais sera arrêtée en commun, si possible à la commande ou ultérieurement en temps utile, de façon à permettre de juger avec certitude du matériel livré et à assurer un contrôle exact des valeurs garanties.

c) Lorsque la fourniture comporte plusieurs machines identiques, on pourra convenir, à la commande déjà, que l'une seule de ces machines (à désigner d'un commun accord) sera soumise aux essais et que les résultats obtenus seront valables pour le reste de la fourniture.

d) Les mesures dureront au moins 15 minutes pour chaque point de charge, dès l'établissement du régime stable. L'ouverture du vannage demeurant inchangée, les points de charge seront mesurés une fois ou tout au plus trois fois, selon le coefficient de pondération attribué au point de garantie considéré.

e) Pour les turbines Kaplan, il y a lieu de procéder aux essais pour différentes positions angulaires déterminées des aubes de la roue mobile (marche en hélice bloquée). A chacune de ces positions angulaires, les mesures s'effectueront pour plusieurs ouvertures du distributeur. Le lieu géométrique de tous les points de rendement maximum des courbes relevées en hélices bloquées donne la courbe de rendement de la turbine Kaplan et permet de déterminer la loi définitive d'asservissement de la roue au distributeur.

41. Mesures sur modèle réduit

Pour les grandes usines génératrices, notamment celles qui sont équipées de turbines Francis et surtout de turbines Kaplan, il peut être recommandable de remplacer les essais de réception dans l'usine, qui sont longs et souvent très coûteux, par des essais effectués avec un modèle réduit de la turbine absolument conforme à l'original aux points de vue géométrique et hydraulique et exécuté à une échelle suffisamment grande. Ces mesures en laboratoire permettent d'éviter les difficultés qui se présentent pour la mesure de grands débits dans le cas d'installations importantes; elles permettent en particulier de vérifier les garanties non seulement pour *une seule* chute, mais pour toute l'étendue de la garantie.

Les rendements mesurés sur le modèle réduit seront interprétés en appliquant l'une des formules connues, au sujet de laquelle le commettant et le fournisseur devront s'entendre. Comme l'indique Hutton [Lit. 11] [3]), la formule de Moody donne généralement des valeurs un peu trop élevées pour le rendement de la turbine réelle, tandis que la formule d'Ackeret donne des valeurs un peu trop faibles.

Afin de tenir compte de la précision de fabrication, de la rugosité relative et des grandeurs à mesurer, l'échelle du modèle doit être aussi grande que possible. Pour des turbines à réaction, cette échelle sera d'au moins 1 : 25, le diamètre de l'aspirateur du modèle réduit devant être d'au moins 300 mm. Pour des turbines à action, le diamètre du cercle des jets sera d'au moins 300 mm et le diamètre de jet à pleine charge d'au moins 30 mm.

Au cas où il s'agit d'essayer, pour la même usine génératrice, des modèles réduits de turbines de différents fournisseurs, il est instamment recommandé que tous ces modèles soient à la même échelle et de procéder aux essais dans des conditions identiques, si possible dans le même laboratoire neutre.

Le laboratoire d'essais sera construit et aménagé de manière qu'il soit possible, en tout temps et sans difficulté, de vérifier la précision des appareils de mesure utilisés, ainsi que le bien-fondé des coefficients d'étalonnage appliqués. Toutes les méthodes de mesure utilisées pour les essais sur modèles réduits doivent concorder avec les dispositions des présentes Règles suisses pour les turbines hydrauliques qui sont applicables aux essais sur grandes machines.

II. Instruments

42. Mise à disposition et étalonnage

Pour des mesures exécutées en Suisse, le fournisseur mettra gratuitement à disposition les instruments hydrauliques qu'il possède, ainsi que le personnel nécessaire au service de ces instruments.

Pour l'étalonnage, les dispositions sont les suivantes:

a) Les courbes d'étalonnage doivent être produites. Le client, ainsi que le fournisseur, ont le droit d'exiger de nouveaux étalonnages avant ou après les essais (ou les deux).

b) La station d'étalonnage décide si les écarts inévitables, constatés par rapport aux courbes d'étalonnage produites, peuvent être considérés ou non comme normaux. Le domaine d'utilisation de l'instrument doit être indiqué à la station d'étalonnage.

c) Pour la Suisse, les stations d'étalonnage reconnues sont:
Pour les instruments de mesures hydrauliques:
Service fédéral des eaux,
Bureau fédéral des poids et mesures.
Pour les appareils de mesures électriques:
Association Suisse des Electriciens,
Bureau fédéral des poids et mesures.

d) La station d'étalonnage décide si l'étalonnage qui a précédé les essais et celui qui les a suivis correspondent d'une manière satisfaisante. Dans ce cas, on tiendra compte de la moyenne arithmétique des deux étalonnages, lors de l'interprétation des résultats définitifs. Dans le cas contraire, et si la cause des écarts ne peut pas être décelée avec certitude, surtout en ce qui concerne le moment de son apparition, une entente devra intervenir.

III. Frais

43. Généralités

a) Le fournisseur n'aura à supporter que les frais résultant de la mise à disposition de son propre personnel pour les essais en Suisse.

b) La répartition des frais pour l'interprétation des résultats des essais et pour l'établissement du rapport final doit être fixée à la commande.

44. Dispositifs spéciaux

Les frais pour dispositifs spéciaux, notamment pour la mesure du débit, sont à la charge du client.

45. Etalonnage

a) Si, lors du réétalonnage d'instruments mis à disposition par le fournisseur, la station d'étalonnage estime que les écarts inévitables sont normaux, les frais encourus seront à la charge de celui qui aura demandé le réétalonnage; dans le cas contraire, une entente devra intervenir.

b) S'il est fait usage d'instruments fournis par des tiers, une entente devra intervenir au sujet de la répartition des frais d'étalonnage.

46. Répétition des essais

Si les résultats des essais de réception sont contestés par l'une des parties, les frais d'une répétition éventuelle des essais seront à la charge de la partie qui avait tort.

[3]) Voir à l'appendice.

IV. Travaux préparatoires

47. Plans

Si un expert neutre est consulté, il sera mis en possession de tous les plans et de toutes les indications nécessaires, et les conditions d'exploitation lui seront communiquées.

48. Installations hydrauliques

Le fournisseur de la turbine a le droit d'examiner l'état de tous les éléments de la partie hydraulique de l'installation qui peuvent avoir une influence sur le fonctionnement de sa fourniture.

49. Revisions

a) Le fournisseur a le droit de vérifier l'état de sa fourniture avant et après les essais.

b) En cas d'usure de pièces importantes provoquée notamment par du sable entraîné par l'eau, le fournisseur doit avoir la possibilité de procéder, avant les essais, aux travaux de remise en état nécessaires; la répartition des frais provoqués par ces travaux fera l'objet d'un accord entre le client et le fournisseur.

Par contre, et pour autant que les conditions d'exploitation et l'exploitation elle-même auront été normales, le fournisseur, sauf accord préalable avec le client, ne sera pas autorisé à procéder, avant les essais, à la réparation de défauts éventuels dus à la cavitation.

50. Relevé des ouvertures

Le relevé des ouvertures des turbines, par exemple des distributeurs, des injecteurs, etc., doit avoir lieu avant les essais.

V. Mesures

51. Technique des mesures

Les dispositifs et les méthodes à appliquer pour la mesure des diverses grandeurs sont fixés et décrits en détail par les «Règles spéciales relatives à la technique des mesures», qui constituent la deuxième partie des présentes Règles.

VI. Exécution des mesures

52. Installations provisoires

Les installations nécessaires pour les mesures à effectuer doivent être autant que possible prévues et arrêtées lors de la commande.

Ces installations devront gêner le moins possible le fonctionnement normal de la machine.

53. Essais préliminaires

Il devra être accordé au fournisseur un laps de temps suffisant pour lui permettre d'exécuter des essais préliminaires et d'en interpréter les résultats.

Ces essais préliminaires ont aussi pour but d'instruire et d'exercer le personnel qui sera chargé des essais de réception.

A la suite de ces essais préliminaires, il sera au besoin accordé au fournisseur un laps de temps suffisant pour lui permettre de procéder aux améliorations qu'il jugerait nécessaires.

En cas d'accord entre les parties, les essais préliminaires pourront être considérés comme essais de réception proprement dits.

54. Résultats provisoires

L'interprétation provisoire des résultats des essais devra se faire aussi rapidement que possible, et être poussée assez loin pour qu'une répétition des mesures, si elle se révélait nécessaire, puisse avoir lieu avant enlèvement des installations d'essai.

55. Procès-verbal

Tous les procès-verbaux, tous les relevés effectués au cours des essais devront être signés par les deux parties.

56. Résultats définitifs

a) Sauf entente contraire entre les parties, l'interprétation de tous les résultats des essais, ainsi que l'élaboration du rapport final, seront effectuées par le fournisseur.

b) Toutes les grandeurs mesurées: chutes H, débits Q et puissances P_T seront portées en fonction de l'ouverture de la turbine, après que les débits et les puissances auront été ramenés à une chute moyenne d'essai, ce qui facilitera le tracé de la courbe moyenne du rendement.

c) La courbe moyenne définitive sera tracée de telle sorte qu'aucun des points considérés ne s'écarte de cette courbe d'une valeur supérieure à la tolérance.

d) Si plus d'un tiers des points devaient être éliminés de ce fait, les mesures seraient réputées inutilisables pour les essais de réception. Si les parties en conviennent, les résultats pourront cependant être admis à titre d'information.

e) Les rendements calculés seront portés en fonction des puissances P_T rapportées à une chute constante.

57. Rapport final

a) Dès que les essais auront été interprétés et que les résultats des mesures auront été acceptés par les deux parties contractantes, un rapport final sera rédigé.

b) Ce rapport comprendra une description générale de l'installation, ainsi que les renseignements nécessaires concernant les fournisseurs, les personnes ayant participé aux essais, les instruments et appareils utilisés. Il comprendra également des croquis des dispositifs de mesure avec référence aux cotes utilisées, quelques considérations critiques sur la précision des mesures et, au besoin, une comparaison des résultats d'essais avec ceux obtenus sur modèle réduit.

VII. Conditions d'essais particulières aux mesures de la puissance et du rendement

58. Chute

a) Les essais doivent avoir lieu, autant que possible, sous les chutes nominales H_n.

b) Si, au cours d'un essai, la chute nette d'essai H_E ne diffère pas de la chute nominale H_n de plus de $\pm 3\,\%$, les mesures pourront se faire à la vitesse nominale de rotation n_n.

c) Si, au cours d'un essai, H_E diffère de la chute nominale H_n d'une valeur comprise entre $\pm 3\,\%$ et $\pm 10\,\%$, la vitesse de rotation n_E lors de l'essai devra être réglée de façon à satisfaire à l'équation:

$$n_E = n_n \sqrt{\frac{H_E}{H_n}}$$

Lorsque, à la vitesse de rotation n_E prévue pour les essais, les conditions de cavitation ne correspondent plus à la garantie, les résultats des essais n'auront qu'un caractère d'information. Il en sera de même lorsqu'un réglage à cette vitesse n'est pas possible, mais que la mesure a néanmoins lieu.

d) Si H_E diffère de H_n de plus de $\pm 10\,\%$ et si les garanties n'ont été données que pour une seule chute H_n, on renoncera aux essais.

c) Si, lors de la commande, on peut prévoir que H_E pourra s'écarter de H_n de plus de $\pm 10\,\%$ ou que, l'écart de H_E étant compris entre $\pm 3\,\%$ et $\pm 10\,\%$, la vitesse de rotation ne pourra pas être réglée à la valeur n_E définie sous lettre c), on fixera, dans le contrat, des garanties de puissance et de rendement, pour la vitesse nominale n_n, qui embrasseront toute l'étendue des chutes d'essai H_E pouvant intervenir.

f) Les résultats des mesures seront ramenés à une hauteur de chute H_{Em} moyenne, constante, et comparés aux valeurs garanties pour cette chute moyenne (obtenues cas échéant par interpolation).

g) La chute d'essai H_E ne devra pas varier, au cours de la mesure d'un point de charge déterminé, de plus de $\pm 2\,\%$ de H_{Em}.

h) La répartition de la chute d'essai H_E entre l'amont et l'aval de la roue ne devra pas provoquer des conditions de cavitation plus défavorables que celles prévues à la commande.

59. Vitesse de rotation

Pendant la mesure d'un point de charge déterminé, la vitesse de rotation ne devra pas s'écarter de plus de $\pm 1\,\%$ de la valeur n_E définie sous chiffre 58, lettre c).

60. Puissance

Pendant la mesure d'un point de charge déterminé, la puissance ne devra pas s'écarter de plus de $\pm 3\,\%$ de sa moyenne arithmétique P_T pendant l'essai. La moyenne arithmétique déterminante sera obtenue par éliminations successives des points de mesure dont il n'y a pas lieu de tenir compte.

Deuxième partie:

Règles spéciales relatives à la technique des mesures

A. Généralités

61. But

Ces «Règles spéciales» sont destinées à préciser les méthodes et leur mode d'utilisation applicables aux essais des turbines hydrauliques, ainsi qu'au contrôle des garanties données conformément aux «Règles générales» qui précèdent.

62. Domaine d'application

Ces «Règles spéciales» s'appliquent aux turbines hydrauliques de tous genres actuellement en usage.

Elles peuvent également s'appliquer, par analogie, aux anciens types de turbines (Henschel, Jonval, Girard, etc.), comme aussi aux pompes centrifuges qui refoulent de l'eau froide.

63. Exécution

L'exécution des mesures décrites ci-après ne doit être confiée qu'à un personnel compétent.

B. Grandeurs à mesurer

64. Généralités

Le contrôle des garanties données pour la turbine exige la mesure des grandeurs suivantes:

Débit
Chute nette
Puissance de la turbine
Vitesse de rotation
Variations de vitesse
Variations de pression

C. Règles concernant les mesures

I. Débit

a) Généralités

65. Dispositions générales concernant les essais

Pendant l'exécution d'une mesure de débit, l'ouverture de la turbine de la machine en essai doit être bloquée (ainsi que la roue mobile dans le cas d'une turbine Kaplan) et les niveaux de l'eau seront maintenus aussi constants que possible.

66. Méthode

Les expériences faites en Europe avec différentes méthodes de mesure du débit permettent de grouper celles-ci en quatre catégories:

α) *Méthodes de mesure normales:*	Moulinets Déversoir
β) *Autres méthodes de mesure:*	Réservoir étalonné Tuyères de turbines
γ) *Méthodes de mesure appropriées surtout aux mesures en laboratoire:*	Méthodes des pesées Ecran mobile Compteur Venturi Tuyères et diaphragmes normalisés Sondes
δ) *Méthodes de mesure n'ayant pas encore fait suffisamment leurs preuves en Suisse:*	Méthode d'Allen Méthode de Gibson Titration Méthode thermodynamique (Mesure de la température)

Pour l'instant, les quatre méthodes suivantes entrent donc *pratiquement* seules en ligne de compte dans des installations de turbines, selon la grandeur du débit à mesurer et les conditions locales:

Moulinets
Déversoir
Réservoir étalonné
Tuyères de turbines

67. Application

La méthode à appliquer lors des essais de réception doit être arrêtée autant que possible à la commande, afin que les dispositions nécessaires puissent être prises en temps utile. Sinon, elle sera fixée d'un commun accord avant les essais, en tenant compte des conditions locales.

En cas de doute sur les résultats des essais, ceux-ci pourront être répétés selon une deuxième méthode, dont les résultats seront alors considérés comme définitifs. Cette seconde méthode devra, pour les cas en question, être qualitativement au moins équivalente à la première.

68. Emplacement de mesure

Le fournisseur devra faire assez tôt ses propositions au sujet de l'emplacement à prévoir pour les jaugeages; pour des mesures exécutées avec des moulinets ou avec déversoir, cet emplacement sera toujours choisi, si cela est possible, dans un parcours rectiligne du canal où se font les jaugeages.

Si l'emplacement de mesure se trouve dans le canal de fuite, il faudra prendre des précautions spéciales, eu égard à la possibilité d'un dégagement d'air et d'une formation de tourbillons.

Le relevé des sections de jaugeage et le montage éventuel des dispositifs de mesure auront lieu, si possible, pendant la construction, c'est-à-dire à sec.

69. Apports et fuites d'eau

Il ne devra pas y avoir d'apports, ni de fuites d'eau, entre la section de jaugeage et la turbine, ce qui devra être soigneusement contrôlé avant et après les essais.

Il faudra également tenir compte de l'élévation ou de l'abaissement des niveaux libres entre la section de jaugeage et la turbine.

70. Débits de fuite

Si l'eau de fuite d'autres turbines est mélangée au débit jaugé, il faudra en déterminer séparément la valeur, par exemple en mesurant la baisse d'un niveau libre, à l'amont, alors que la turbine d'essai et l'amenée d'eau sont fermées.

b) Moulinets

71. Généralités

Le jaugeage aux moulinets, qui dure toujours un certain temps, ne doit être pratiqué qu'en régime d'écoulement stable, assuré pendant toute la durée d'un jaugeage. Si une perturbation survient au cours de l'essai, celui-ci devra être recommencé.

72. Emplacement de la section de jaugeage dans un canal

La section de jaugeage doit être choisie avec beaucoup de précaution, de manière que la précision soit aussi grande que possible. Outre ce qui a été spécifié au chiffre 68, on tiendra compte des points suivants:

a) La section de jaugeage doit être établie de préférence dans le canal d'amenée. Dans le canal de fuite, la distance entre la section de jaugeage et la sortie de la turbine devra être suffisante pour qu'il ne se produise pas de tourbillons, gonflements ou creux dans cette section et aussi peu que possible de bulles d'air.

b) Les parois du canal doivent être rectilignes et parallèles; dans des canaux à ciel ouvert, le radier sera aussi horizontal que possible sur une longueur d'au moins 2 m en amont de la section de jaugeage.

c) L'axe des moulinets doit être, autant que possible, parallèle au sens du courant et la section de jaugeage perpendiculaire à celui-ci. Lorsque cela est impossible, par suite de circonstances locales, les moulinets pourront être échelonnés (voir chiffre 80).

d) Quand il s'agit d'usines au fil de l'eau, la section de jaugeage peut être disposée à l'entrée de la turbine. Dans ce cas, il est recommandé de faire en sorte d'obtenir un courant rectiligne et parallèle dans tous les points de la section de jaugeage, en aménageant provisoirement des parois de guidage et des plafonds noyés.

e) On évitera autant que possible des mesures en écoulement convergent ou dans une section oblique, car cela peut donner lieu à des erreurs systématiques qu'il est difficile de déterminer. Pour des mesures dans de telles conditions, il ne faudra utiliser que des moulinets à hélice auto-composante et tenir compte de ce qui est dit au chiffre 79.

73. Répartition des vitesses

On mettra tout en œuvre pour que l'écoulement soit aussi régulier que possible. Dans ce but, la répartition des vitesses

dans la section de jaugeage sera relevée avant les essais principaux.

Si cette répartition se révèle très irrégulière, on l'améliorera en utilisant judicieusement des parois de guidage, des plafonds noyés, des grilles de tranquillisation et, lorsque la surface de l'eau est agitée, des radeaux, etc. (fig. 13).

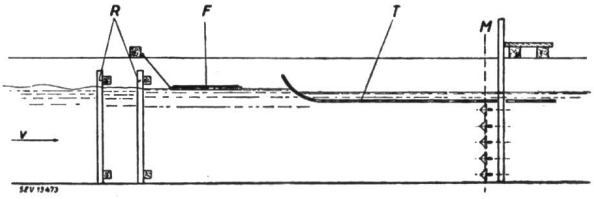

Fig. 13
Dispositifs de régularisation dans un canal ouvert
destinés à améliorer les conditions d'écoulement pour les jaugeages aux moulinets (s'appliquant également aux déversoirs)
R Grilles; *F* Radeau; *T* Plafond noyé; *M* Section de jaugeage

On renoncera à jauger, même avec moulinets à contact de retour, dans une section où l'on constaterait la présence de contre-courants.

74. Installations

Les dispositifs destinés à régulariser l'écoulement, tels que grilles, radeaux, etc., doivent être disposés à plusieurs mètres en amont de la section de jaugeage; ils ne servent pas seulement à améliorer la répartition des vitesses dans cette section, mais aussi à réaliser des conditions favorables à une mesure précise de la hauteur de l'eau en ce point (fig. 13).

Le montage d'une tuyère (fig. 14) offre les avantages suivants:

Accroissement des vitesses à mesurer,
bonne répartition des vitesses,
suppression de la mesure de la profondeur de l'eau.

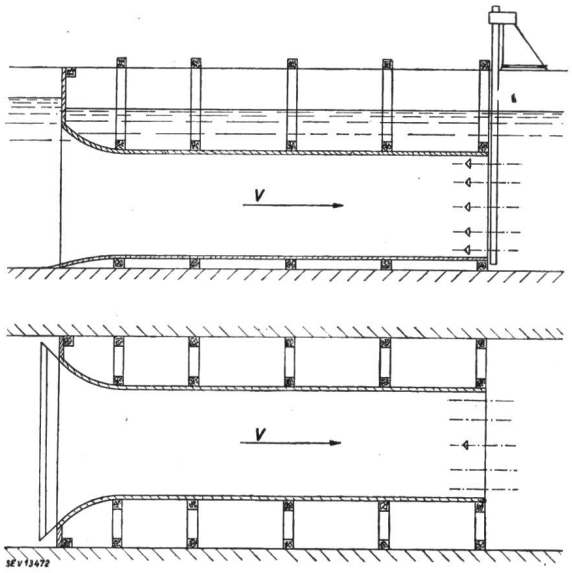

Fig. 14
Tuyère provisoire, de section carrée ou rectangulaire

75. Dimensions minima

Les sections de jaugeage rectangulaires ou trapézoïdales peuvent avoir les dimensions minima suivantes:

Largeur minimum du canal $B = 0{,}8$ m
Hauteur d'eau minimum $T = 0{,}8$ m

Dans une conduite forcée, un jaugeage au moyen d'un seul moulinet ne doit avoir lieu que si le diamètre intérieur de la conduite est d'au moins 1,2 m.

Lorsque le jaugeage s'opère au moyen d'un croisillon fixe supportant un grand nombre de moulinets, le diamètre intérieur de la conduite doit être d'au moins 1,4 m.

Voir en particulier les dispositions du chiffre 84.

76. Limites de vitesse

L'emploi des moulinets pour de grandes vitesses d'écoulement n'est limité que par les possibilités d'étalonnage et, cas échéant, par les difficultés de fixation des moulinets. La courbe d'étalonnage ne doit être en aucun cas extrapolée.

La vitesse moyenne Q/A dans la section de jaugeage (A) ne devra pas être inférieure à 0,4 m/s.

77. Types de moulinets

On n'utilisera que des moulinets à écoulement axial et à signalisation électrique. Le guidage de l'axe du moulinet dans ses paliers a une très grande importance (fig. 15).

Les moulinets à ailettes et surtout ceux à anneau de protection s'encrassent plus facilement par les corps flottants que les hélices à arêtes biaises.

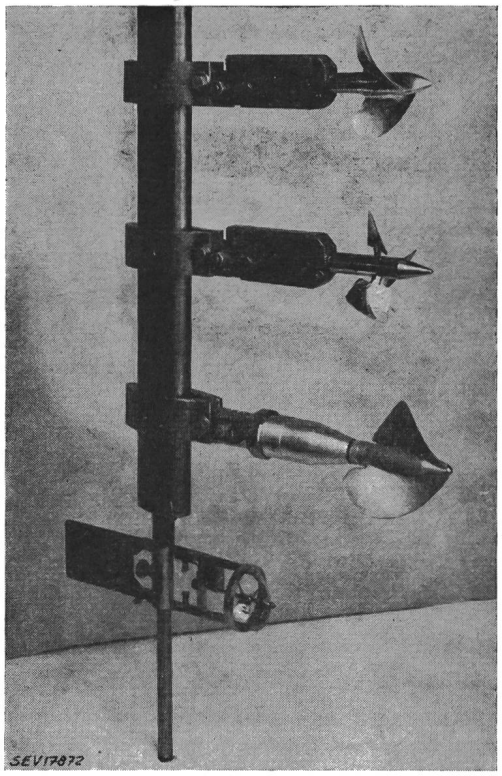

Fig. 15
Moulinets utilisés en Europe, avec écoulement axial
a) Moulinet à hélice à arête biaise, diamètre de 120 mm
b) Moulinet à ailettes, diamètre de 120 mm
c) Moulinet à hélice à arête biaise, diamètre de 125 mm
d) Moulinet à anneau de protection et aileron, diamètre de 80 mm

Le diamètre du moulinet normal doit être d'au moins 100 mm. Pour les mesures dans des conduites forcées d'un diamètre de moins de 2 m, il est recommandé d'utiliser des moulinets de 80 mm de diamètre, afin de pouvoir mieux jauger la zone marginale.

Si l'on craint la présence de contre-courants, on procédera à un contrôle de l'écoulement au moyen d'un moulinet à contact de retour; il n'est donc pas nécessaire que tous les moulinets soient équipés d'un tel dispositif.

78. Fixation des moulinets

Les moulinets doivent être fixés sur leur tige de telle sorte qu'ils ne soient soumis à aucune vibration ni torsion et qu'ils soient exactement maintenus parallèlement à l'axe du canal ou de la conduite ou, dans le cas de courants convergents (écoulement oblique), selon chiffre 79.

79. Ecoulement oblique

Si les conditions locales ne permettent pas de placer les moulinets dans la direction du courant, un jaugeage aux moulinets sera également admis pour un écoulement oblique de l'eau, à la condition que la composante axiale de la vitesse de l'eau indiquée par les moulinets utilisés corresponde avec une précision suffisante à la composante axiale réelle (fig. 16).

Avec les moulinets actuels, l'écoulement oblique admissible peut atteindre jusqu'à $\alpha_{max} = \pm 10°$, selon le type. Dans ce cas, les écarts par rapport à la loi du cosinus seront généralement inférieurs à 1 %.

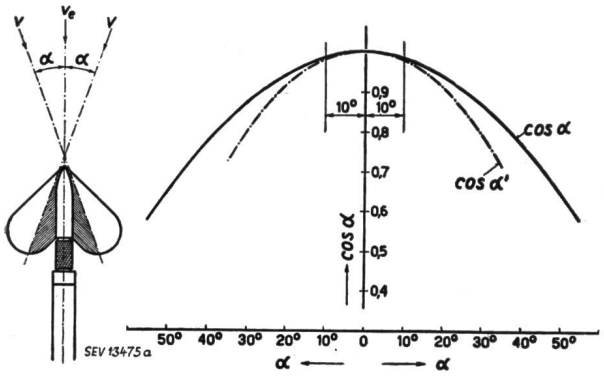

Fig. 16

Ecart entre la courbe d'étalonnage d'un moulinet et la loi du cosinus, dans le cas d'un moulinet attaqué obliquement par les filets liquides

v Vitesse d'écoulement sous l'angle α; v_e Composante de la vitesse à mesurer, perpendiculaire à la section de jaugeage, c'est-à-dire dans le sens de l'axe du moulinet. v_e devrait être égal à $v \cos \alpha$. En réalité, le moulinet mesure $v_e' = v \cos \alpha'$, c'est-à-dire un peu moins, dès que $\alpha > \approx \pm 10°$

Il existe maintenant des moulinets à hélice auto-composante dont les écarts demeurent inférieurs à ± 1 %, même pour de grandes valeurs de α. Lorsque ces moulinets sont utilisés, il est indispensable (surtout pour les entrées convergentes de turbines) de les disposer aussi loin que possible de leur cadre de jaugeage, afin qu'ils ne soient pas influencés par celui-ci. Pour la même raison, il faut éviter la présence de profils ovales ou méplats dans la construction du cadre de jaugeage et ne prévoir que des tubes de section circulaire dans le courant d'eau.

L'axe du moulinet doit être perpendiculaire à la section de jaugeage.

80. Disposition échelonnée

Si les conditions locales ne permettent pas de placer les moulinets comme indiqué au chiffre 72, ceux-ci pourront également être échelonnés selon la fig. 17.

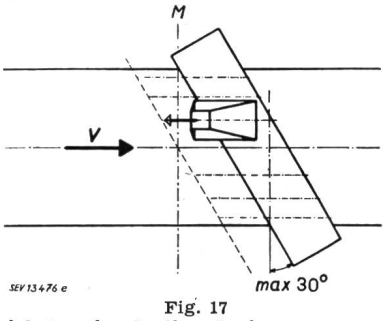

Fig. 17

Disposition échelonnée: Section de jaugeage non perpendiculaire à la direction des filets

M Section de référence pour le calcul

La section à laquelle le calcul du débit doit être rapporté est toutefois perpendiculaire à l'axe d'écoulement de l'eau, c'est-à-dire perpendiculaire à l'axe des moulinets et à l'axe du canal.

La disposition échelonnée ne doit être prévue que si le canal est d'une section uniforme sur une distance suffisante en amont et en aval du dispositif de jaugeage, c'est-à dire que si l'uniformité de la répartition des vitesses est assurée dans la zone de jaugeage.

Des essais comparatifs n'ont révélé aucune différence appréciable par rapport au jaugeage dans la section perpendiculaire à l'axe du canal, pour autant que l'angle du profil oblique sur la perpendiculaire au canal ne dépasse pas 30°.

A ce sujet, les conditions du chiffre 72 ont une grande importance.

81. Etalonnage

Les moulinets devront être étalonnés avec le même système de fixation que celui utilisé lors des essais. Le contrôle des déformations éventuelles des pales de l'hélice, pourra se faire avantageusement par l'emploi de moules en plâtre (fig. 18).

Les moules en plâtre doivent être envoyés à la station d'étalonnage et porter l'empreinte de la date d'étalonnage.

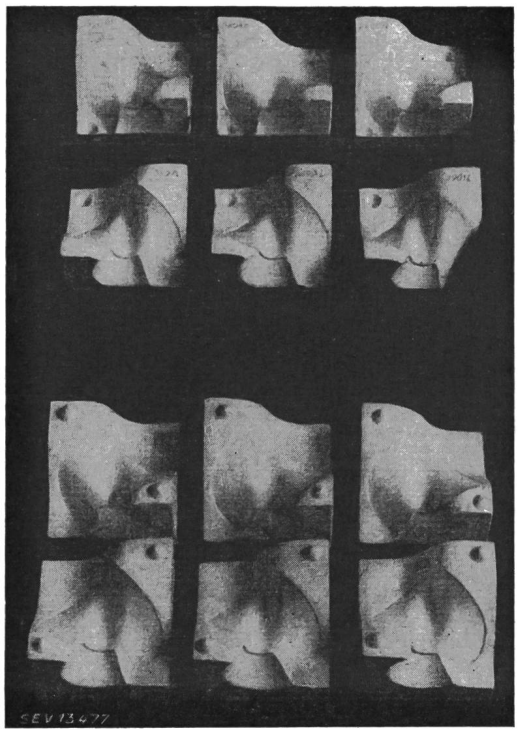

Fig. 18

Moules en plâtre pour le contrôle des moulinets

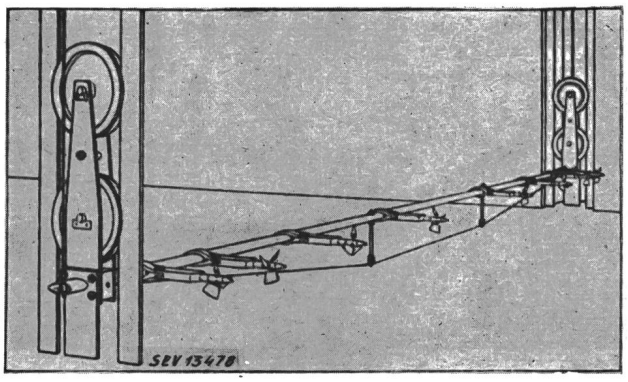

Fig. 19

Exemple d'une tige porte-moulinets horizontale, de construction simple, modèle Ott

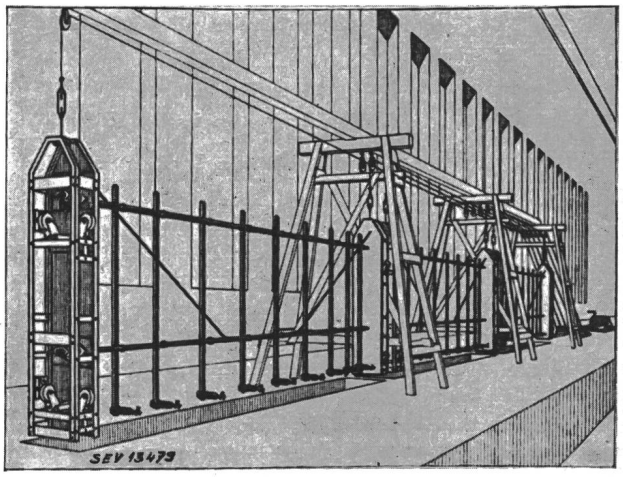

Fig. 20

Exemple d'un cadre porte-moulinets à tiges verticales pour le jaugeage des débits d'usines hydroélectriques importantes, modèle Bitterli

82. Nombre des moulinets

Pour les grandes sections de jaugeage et afin de réduire la durée de l'essai, on utilisera plusieurs moulinets, ce qui, selon les conditions locales, permettra de relever simultanément, soit des verticales, soit des horizontales entières (fig. 19 et 20).

devront convenir d'une tolérance de mesure plus grande, sinon le jaugeage devra porter au moins sur quatre diamètres.

On utilisera l'un ou l'autre des procédés suivants:

Jaugeage au moyen d'un seul moulinet, avec vanne à sas (méthode Dufour, fig. 21).

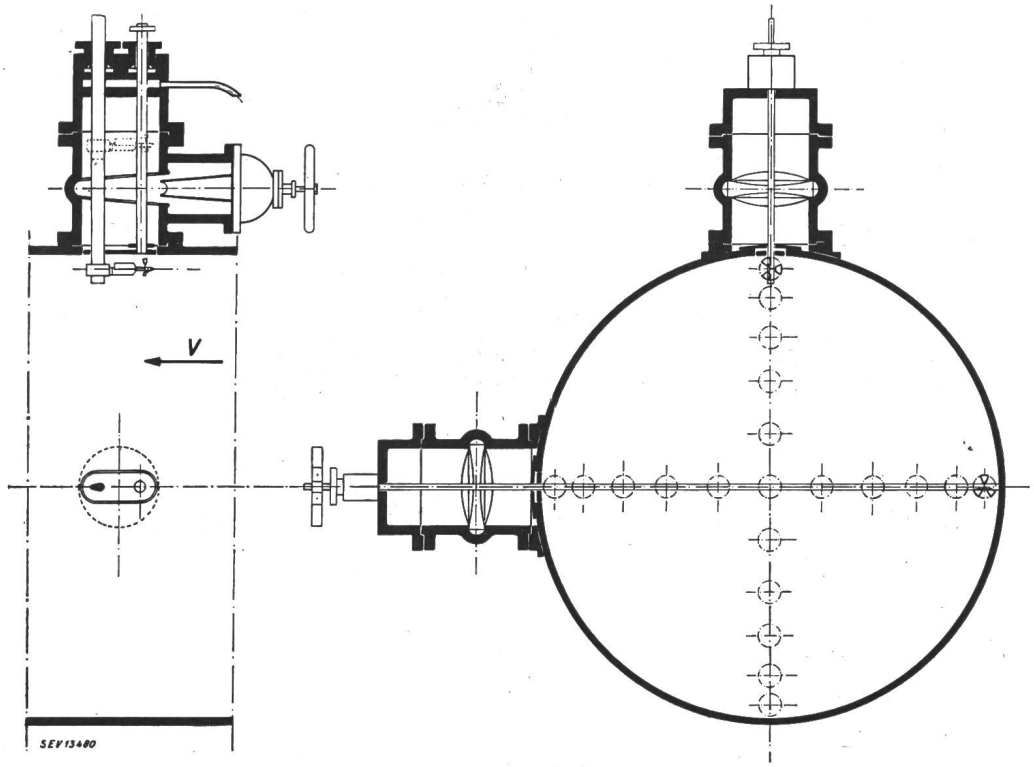

Fig. 21

Jaugeage aux moulinets en conduite forcée, selon la méthode Dufour

Un moulinet déplaçable, avec vannes à sas permettant de passer d'un diamètre à un autre au cours de l'essai

83. Nombre des points de mesure

Le nombre z des points de mesure dans une section donnée A se calcule à l'aide de la relation

$$24\sqrt[3]{A} < z < 36\sqrt[3]{A}$$

où A doit être introduit en m².

La relation ci-dessus n'est valable que pour des canaux à ciel ouvert, des entrées de bâches spirales, etc.

Lorsque le jaugeage a lieu dans une conduite forcée, avec croisillon fixe (par exemple à quatre bras, comme sur la fig. 23), le nombre z de moulinets par bras (rayon R) du cadre se calculera selon la relation:

$$4\sqrt{R} < z < 5\sqrt{R},$$

le nombre total des moulinets fixes dans toute la section de jaugeage devant être de 13 au minimum et la longueur de bras R indiquée en m.

Selon la construction du croisillon, il est recommandé de prévoir en outre un moulinet central.

84. Jaugeage en conduite forcée

La section de jaugeage doit être située dans un tronçon rectiligne, sa distance au coude amont le plus rapproché ne devant pas être inférieure à 20 fois le diamètre de la conduite, et sa distance au coude aval à 5 fois ce diamètre.

Dans les conduites forcées, les vitesses seront mesurées au moins sur deux diamètres perpendiculaires l'un à l'autre.

On prendra comme diamètre moyen de la conduite la moyenne de six diamètres. Si l'on jauge sur deux diamètres seulement, le résultat ne sera réputé admissible que si les débits obtenus séparément, pour ces deux diamètres, ne diffèrent pas de plus de 2 % de leur moyenne arithmétique.

Pour des tronçons rectilignes plus courts en amont et en aval de la section de jaugeage, le client et le fournisseur

Jaugeage au moyen d'un ou de plusieurs moulinets coulissant sur un rail fixe (fig. 22).

Jaugeage au moyen de plusieurs moulinets fixés à demeure dans la conduite (fig. 23).

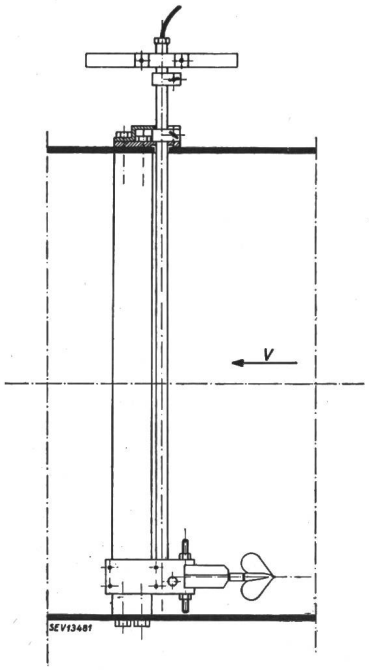

Fig. 22

Jaugeage aux moulinets en conduite forcée de grand diamètre, ou pour de grandes vitesses de l'eau

Un moulinet coulissant sur une tige installée à demeure

Si les conditions locales ne permettent pas d'utiliser l'une des méthodes ci-dessus, le jaugeage pourra se faire tout de même, après accord entre les parties, à l'aide d'un moulinet fixé sur une tige, susceptible de se déplacer axialement et angulairement, dans tout le plan de la section de jaugeage (fig. 24).

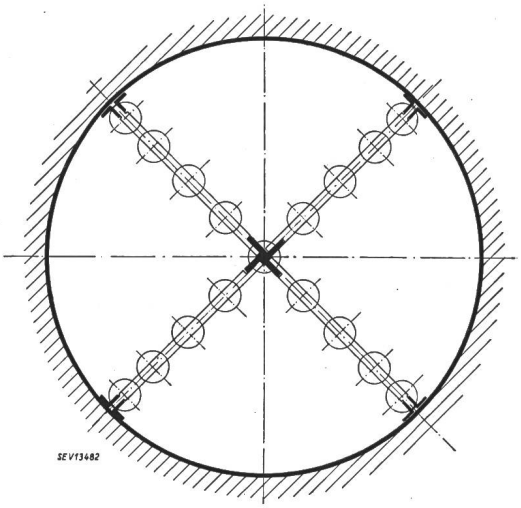

Fig. 23
Jaugeage aux moulinets en conduite forcée de grand diamètre
Cadre en croisillon supportant plusieurs moulinets installés à demeure

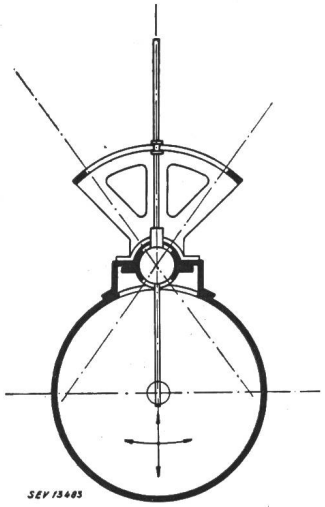

Fig. 24
Jaugeage aux moulinets en conduite forcée de petit diamètre dont l'accès n'est possible que d'un seul endroit
Un moulinet sur tige déplaçable et oscillante

85. Répartition des points de mesure

Dans la zone des plus grandes variations de vitesse, c'est-à-dire à proximité des parois, du fond du canal et de la surface de l'eau, les points de mesure doivent être plus rapprochés.

86. Distance entre l'axe des moulinets, les parois et le niveau libre

La distance de l'axe du moulinet le plus rapproché d'une paroi ou du fond du canal doit demeurer dans les limites suivantes:

minimum: 0,75 × diamètre du moulinet,
maximum: 0,2 m.

Le moulinet supérieur doit être entièrement noyé, mais placé aussi près que possible du niveau libre.

87. Mesure du temps

Si l'on utilise simultanément plusieurs moulinets, leurs indications seront enregistrées au moyen d'un chronographe électrique; si l'on se sert d'un seul moulinet, on pourra utiliser un chronomètre à déclic.

88. Durée de la mesure

La durée de mesure pour chaque position du moulinet ou du cadre de jaugeage sera d'au moins une minute. Pour les jaugeages avec cadre à croisillon fixe dans des conduites forcées, par exemple selon la fig. 23, la durée de mesure devra être de quelques minutes et à peu près au milieu de la durée de 15 minutes indiquée au chiffre 40 d) pour les autres grandeurs de mesure.

Si la vitesse de l'eau est sujette à des pulsations périodiques, on prolongera la durée de la mesure, de manière à disposer, pour l'interprétation des résultats, d'au moins deux périodes de pulsation.

89. Hauteur d'eau

Le niveau de la surface liquide devant servir à déterminer la profondeur de l'eau dans la section de mesure sera relevé pendant toute la durée du jaugeage. On s'efforcera de réaliser un régime stable, sans tendance marquée ni à une élévation, ni à un abaissement du niveau. La variation de la profondeur de l'eau, pendant un jaugeage, ne doit pas dépasser ± 1 % de la profondeur moyenne.

Le relevé de la hauteur d'eau se fera soit à l'aide d'un limnimètre à pointe (fig. 25), soit au moyen de la tige de fixation des moulinets, l'axe du moulinet supérieur étant amené à la surface de l'eau (fig. 26).

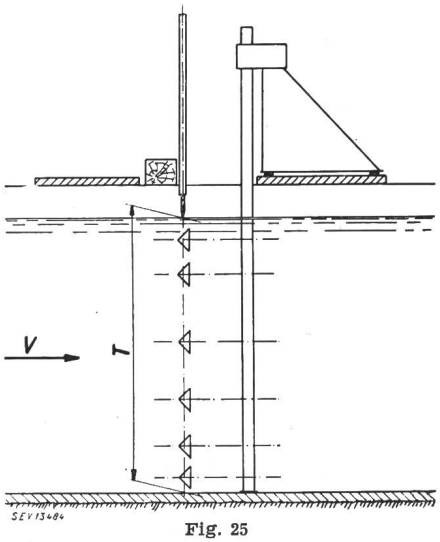

Fig. 25
Mesure de la hauteur d'eau dans la section de jaugeage à l'aide d'un limnimètre à pointe

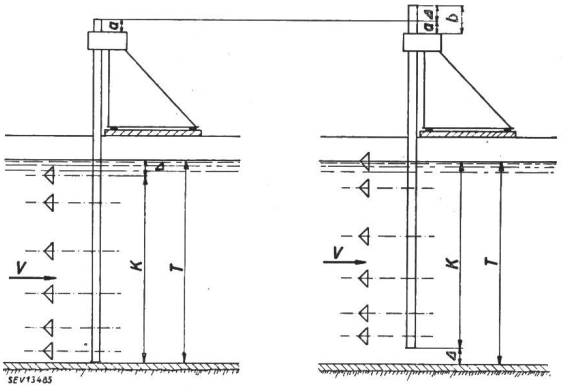

Fig. 26
Mesure de la hauteur d'eau dans la section de jaugeage par relevage de la tige des moulinets

90. Exécution

Les mesures doivent s'étendre sur toute la section de jaugeage.

Il n'est donc pas admissible de calculer la vitesse moyenne et, par suite, le débit, en partant de la vitesse mesurée en un seul point de la section.

91. Pulsations

Afin de déceler des pulsations éventuelles de la vitesse de l'eau, on utilisera des moulinets qui donnent un contact tous les 20 tours, ou, mieux encore, tous les 10 tours.

92. Interprétation des résultats

L'interprétation des mesures aux moulinets se fera graphiquement par planimétrage; un contrôle arithmétique est cependant recommandable.

L'emploi de papiers millimétriques n'est pas recommandable à cause de l'imprécision et de l'irrégularité de l'impression. On tiendra compte, d'autre part, du retrait du papier, surtout lors de contrôles ultérieurs d'après héliographies.

Le planimètre utilisé sera contrôlé; on se servira de préférence d'un planimètre linéaire, à galets et guidages.

Les échelles seront choisies de telle sorte que le degré de précision de l'intégration graphique soit au moins aussi élevé que celui de la mesure des temps, longueurs, profondeurs et vitesses.

L'expérience a démontré que les échelles les mieux appropriées sont celles qui donnent des diagrammes de surface voisine du carré et d'environ 150 à 200 mm de côté.

93. Zone périphérique

α) Jaugeages dans canaux à ciel ouvert, entrées de bâches-spirales, etc.

L'allure de la vitesse dans la zone périphérique, lors de jaugeages dans des canaux à ciel ouvert, entrées de bâches-spirales, etc., s'obtiendra en traçant un arc de cercle tangent à la paroi et à la courbe des vitesses au dernier point de mesure, la tangente en ce point étant donnée par:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_1}{7a} \quad \text{(voir fig. 27 } a\text{)}$$

Il s'agit là d'une simplification admissible par rapport à la loi

$$v_x = v_1 \left(\frac{a_x}{a}\right)^{1/7}$$

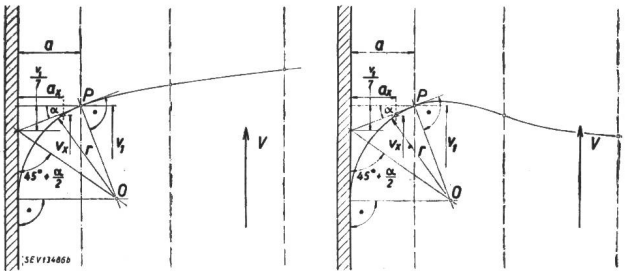

Fig. 27a
Allure de la vitesse dans la zone périphérique (voir chiffre 93 α)

a Distance entre la paroi et l'axe du moulinet le plus rapproché (point P)
v_1 Vitesse au point de mesure P, le plus rapproché de la paroi
r Rayon de courbure de la courbe des vitesses
α Angle d'inclinaison de la tangente en P

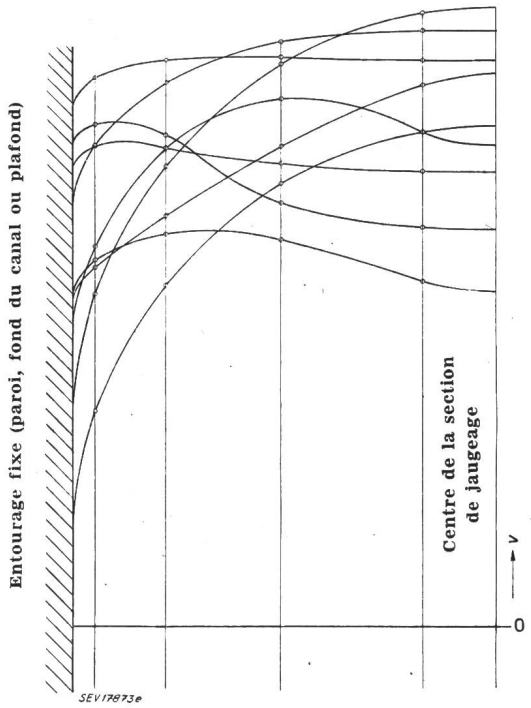

Fig. 27b
Différentes courbes de vitesse typiques à la paroi, au fond ou au plafond de sections de jaugeage relativement étroites
(La fig. 27b représente la fig. 5 simplifiée des Normes n° 109 de la SIA)

β) Jaugeages à l'extrémité de tuyères provisoires en bois

Pour des jaugeages effectués à l'extrémité de tuyères provisoires en bois selon fig. 14 ou dans toute autre section placée à faible distance à l'aval d'un convergent, on tracera les courbes de vitesse en s'inspirant des indications de la fig. 27 *b*.

γ) Jaugeages dans des conduites forcées

En observant les dispositions du chiffre 84, la répartition des vitesses dans la section de jaugeage est sensiblement conforme à la formule [Lit. 6]:

$$v = v_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)^{\frac{1}{m}}$$

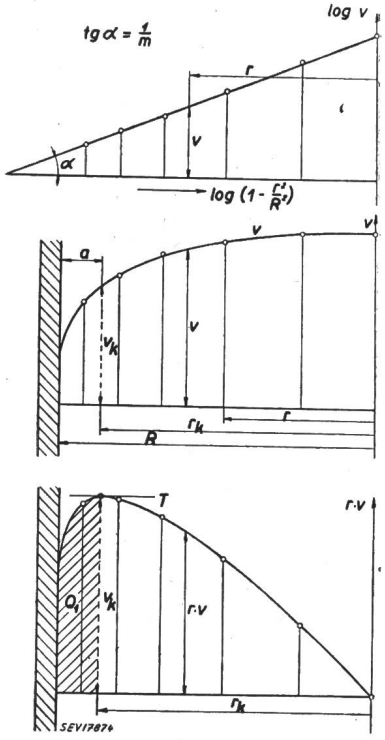

Fig. 27c
Allure de la vitesse dans la zone périphérique d'une conduite forcée, selon la formule indiquée au chiffre 93 γ

où v_0 est la vitesse maximum au centre de la conduite et v la vitesse à la distance r du centre. Le nombre m est une fonction du nombre de Reynold R_e et de la rugosité relative de la conduite et est déterminé en se basant sur les vitesses v mesurées à la distance r, selon la formule:

$$\log v = \log v_0 + \frac{1}{m} \log \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$$

où $1/m$ est la tangente de l'angle d'une droite d'ordonnées $\log v$ et d'abscisses $\log \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$. Les points de mesure reportés dans un système de coordonnées logarithmiques dispersent autour d'une droite que l'on tracera pour fixer la valeur de $1/m$. Les vitesses dans la zone périphérique peuvent alors être calculées selon l'équation donnée ci-dessus pour v et le débit total peut ainsi être déterminé.

Il est généralement plus simple et aussi plus exact d'admettre que la zone périphérique commence avec le rayon r_k pour lequel le produit $v \cdot r$ est maximum (voir fig. 27 *c*, en bas). On a alors:

$$r_k = \frac{R}{\sqrt{1 + \frac{2}{m}}}$$

Le débit de la zone périphérique Q_1 est donné par la formule:

$$Q_1 = R^2 \pi v_k \frac{2m}{(1+m)(2+m)}$$

où v_k est la vitesse mesurée à la distance r_k du centre et qui peut être tirée de la courbe des vitesses (voir fig. 27 *c*, au centre). Le débit total est alors la somme du débit Q_2 déterminé graphiquement de $r = 0$ à $r = r_k$ et du débit Q_1 de la zone périphérique, c'est-à-dire:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

94. Succession des intégrations

La première intégration se fera sur la ligne verticale ou horizontale le long de laquelle les vitesses auront été relevées. S'il s'agit d'un relevé selon la verticale, le débit se calculera en conséquence d'après la formule (figure 28):

$$Q = \int_0^B \mathrm{d}B \cdot \int_0^T v \cdot \mathrm{d}T$$

où B désigne la plus grande largeur de la section et T la profondeur de l'eau.

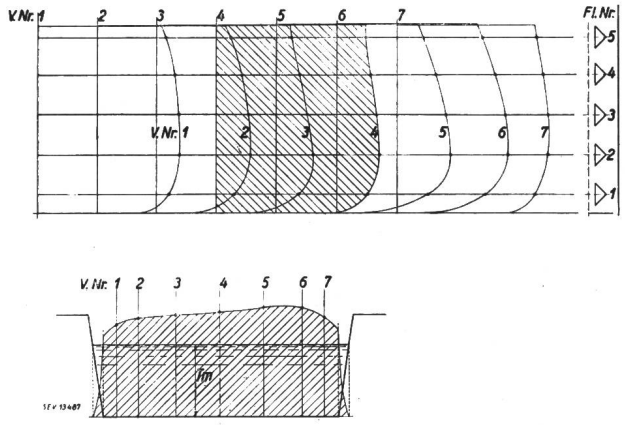

Fig. 28
Exemple d'un jaugeage aux moulinets dans un canal de section légèrement trapézoïdale
5 moulinets par tige verticale. Mesure sur 7 verticales

95. Conduite forcée

L'interprétation des mesures se fera selon l'une et l'autre des deux méthodes suivantes, c'est-à-dire en portant soit v en fonction de r^2, soit rv en fonction de r.

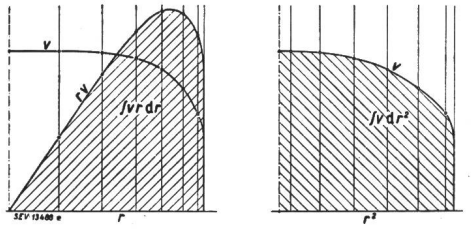

Fig. 29
Jaugeage en conduite forcée
A gauche: Interprétation avec rv en fonction de r
A droite: Interprétation avec v en fonction de r^2

Les débits obtenus par ces deux méthodes ne doivent pas différer l'un de l'autre de plus de 1 %. On admettra comme débit mesuré la moyenne des résultats des deux méthodes.

96. Jaugeage par intégration directe

La méthode d'intégration directe, c'est-à-dire celle qui consiste à déplacer les moulinets à vitesse constante, de façon qu'ils balayent toute la section de jaugeage, se heurte à certaines difficultés et exige des dispositifs très coûteux; elle n'offre d'avantages par rapport à un jaugeage normal aux moulinets que lorsqu'il s'agit de jauger de très grands débits dans de grandes sections. Dans ce cas, il faut relever un nombre suffisant de points de comparaison avec des cadres de jaugeage immobiles.

Dans tous les autres cas, cette méthode n'est pas recommandable.

c) Déversoir

97. Application

Le déversoir convient pour la mesure de débits faibles et moyens.

98. Déversement parfait

Le déversoir doit être aménagé de telle sorte que, même aux plus grandes charges sur la crête, le déversement soit parfait. La hauteur de retombée s_1 doit donc être suffisante pour que la lame déversante soit complètement denoyée à l'aval du déversoir, c'est-à-dire pour qu'il existe entre elle et la paroi du déversoir un espace d'air, dans lequel règne une pression à peu près égale à la pression atmosphérique [Lit. 1].

99. Limites d'application

Les limites suivantes concernant les dimensions du déversoir devront être respectées [Lit. 1]:

Largeur du déversoir	$b \geqq 0{,}25$ m
Hauteur de la paroi du déversoir	$s \geqq 0{,}30$ m

Les valeurs limites se rapportant à d'autres grandeurs, par exemple à la charge h sur la crête du déversoir, figurent au chapitre relatif aux coefficients de déversoir.

En respectant ces limites, on reste dans le domaine d'utilisation des déversoirs tel qu'il a été exploré par les expérimentateurs.

100. Déversoir rectangulaire sans contraction latérale

On utilisera ce type de déversoir de préférence à tous les autres; c'est celui qui possède les bases expérimentales les plus solides et qui donne les résultats les plus sûrs.

101. Déversoir rectangulaire avec contraction latérale

S'il n'est pas possible d'utiliser un déversoir sans contraction latérale, on se servira du déversoir rectangulaire avec contraction latérale.

Ce sera notamment le cas lorsque l'aménagement d'un dispositif d'aération suffisant est malaisé ou lorsque les parois du canal de fuite ne sont pas lisses ou parfaitement verticales ce qui se présente assez fréquemment dans les installations à haute chute.

L'emploi d'un déversoir avec contraction latérale peut se justifier aussi lorsqu'il permet d'augmenter la charge sur la crête, ce qui favorise la précision des mesures.

102. Formes spéciales du déversoir

Les déversoirs de forme spéciale,

en V, circulaire, ou autres,

ne s'emploient que dans des cas particuliers; ils devront toujours être étalonnés dans les conditions d'exploitation de l'usine.

103. Emplacement du déversoir

Lorsque le déversoir est installé dans le canal de fuite, ce qui est généralement le cas, il faudra qu'il soit suffisamment éloigné de la sortie de la turbine pour que l'eau ait pu se débarrasser des bulles d'air avant d'atteindre le déversoir.

104. Canal de mesure, à l'amont du déversoir

Le canal, à l'amont du déversoir, et sur une longueur d'au moins 20 fois la charge maximum sur la crête, doit être rectiligne, de section constante, à parois lisses, verticales et parallèles, le radier étant horizontal.

105. Canal de fuite, à l'aval du déservoir

Le niveau de l'eau, à l'aval du déversoir, devra être situé au moins à 0,3 m ou à 0,5 h_{max} en dessous de l'arête du déversoir (déversement parfait, voir chiffre 98), donc

$$0{,}3 \text{ m} \leqq s_1 \geqq 0{,}5\, h_{max} \quad \text{(voir fig. 30)}$$

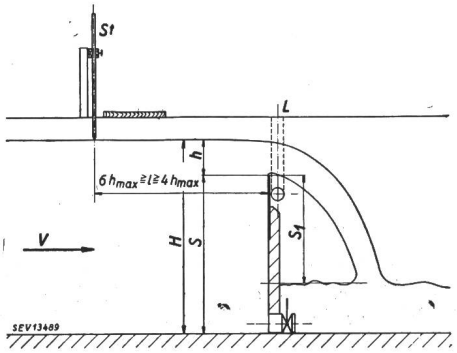

Fig. 30
Déversoir sans contraction latérale
s Hauteur du déversoir; *h* Charge sur la crête; *H* Hauteur d'eau à l'amont du déversoir; s_1 Hauteur de retombée, à l'aval du déversoir; *St* Limnimètre à pointe; *L* Conduite d'aération

106. Installation

Le déversoir à contraction latérale doit être disposé symétriquement, le milieu de l'échancrure coïncidant avec l'axe du canal (fig. 31).

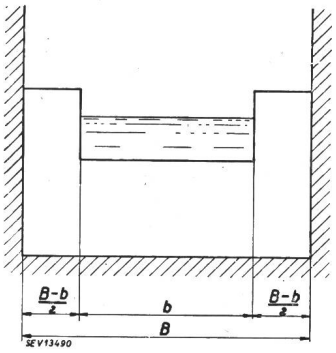

Fig. 31
Déversoir avec contraction latérale
Echancrure de largeur *b* disposée symétriquement par rapport à la largeur *B* du canal

107. Paroi du déversoir

La paroi du déversoir sera disposée perpendiculairement au fond et aux parois du canal; son parement amont devra être absolument plan et lisse, et ne présenter aucune aspérité quelconque (fig. 30).

Il est recommandé de prévoir à la base du déversoir une ouverture de vidange.

108. Crête du déversoir

La partie supérieure du déversoir doit être métallique; elle sera exécutée exactement comme l'indique la figure 32 [Lit. 1].

L'arête déversante doit être vive; il en sera de même des arêtes latérales des déversoirs à contraction latérale qui seront exécutées conformément à la figure 32.

Afin d'éviter tout danger de rouille, il est recommandé d'exécuter les arêtes en métal inoxydable, en acier inoxydable ou en laiton, par exemple.

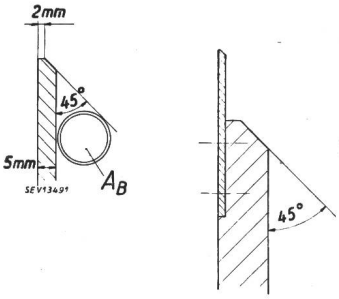

Fig. 32
Croquis de la partie supérieure du déversoir
Aménagement de l'arête du déversoir et position de la section d'aération A_B

109. Aération du déversoir

L'aération doit être suffisante pour que règne, en dessous de la nappe déversante, une pression voisine de la pression atmosphérique.

La section A_B des orifices d'aération de la nappe devra être d'au moins $^1/_2$ % du produit $B \cdot s_1$ (fig. 30 et 32).

110. Régularisation de l'écoulement

L'écoulement de l'eau, en amont du déversoir, devra être aussi tranquille et régulier que possible. On prévoira au besoin des dispositifs de régularisation appropriés, tels que grilles, treillis, radeaux, etc. (voir également fig. 13).

111. Répartition des vitesses

La répartition des vitesses en amont du déversoir doit être régulière sur toute la section (fig. 33).

Des courants de fond ou de surface nettement caractérisés ou une arrivée d'eau asymétrique sont inadmissibles et doivent être corrigés par l'emploi des dispositifs prévus sous chiffre 110.

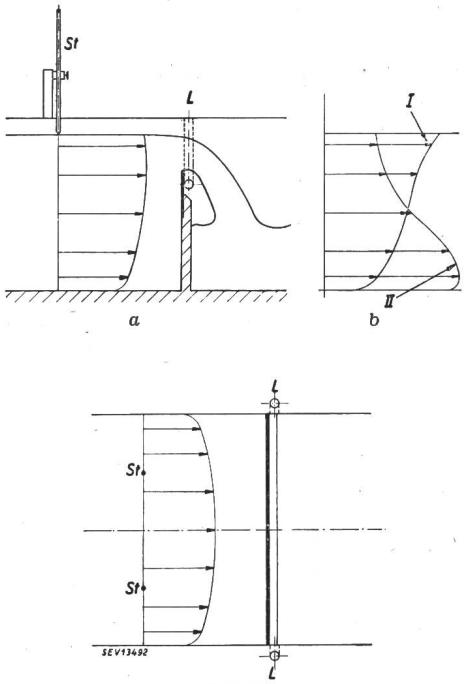

Fig. 33
Répartition des vitesses en amont du déversoir
a Répartition convenable des vitesses
b Répartition défavorable des vitesses
I Ecoulement de surface; *II* Ecoulement de fond
St Limnimètre à pointe; *L* Conduite d'aération

La répartition des vitesses, à l'amont du déversoir, sera contrôlée à l'aide d'un moulinet, avant les essais.

112. Charge sur la crête

La mesure de la charge *h* sur la crête doit se faire à une distance du déversoir égale au moins à 4 h_{max} et au plus à 6 h_{max}.

Le nombre des points de mesure de *h* sera choisi comme suit:

Largeur du canal $B \leqq 1$ m	1 point de mesure
$1 \text{ m} < B \leqq 2$ m	2 points de mesure
$2 \text{ m} < B \leqq 6$ m	3 points de mesure
$B > 6$ m, au moins	4 points de mesure

Les points de mesure seront répartis régulièrement sur toute la largeur du canal. Pour le calcul du débit, on prendra la moyenne arithmétique de toutes les mesures.

113. Dispositif de mesure

Pour la mesure de la charge sur la crête, on se servira de préférence de limnimètres à pointe (fig. 30). Si l'on se sert de tubes piézométriques ou de flotteurs dans un puits séparé, la liaison de ces dispositifs avec le canal devra être particulièrement soignée (fig. 34). Les échelles limnimétriques fixes ne sont pas admises, en raison de l'imprécision des lectures.

114. Repérage du zéro du limnimètre

Le zéro du limnimètre doit être repéré avec le plus grand soin et contrôlé avant et après les essais.

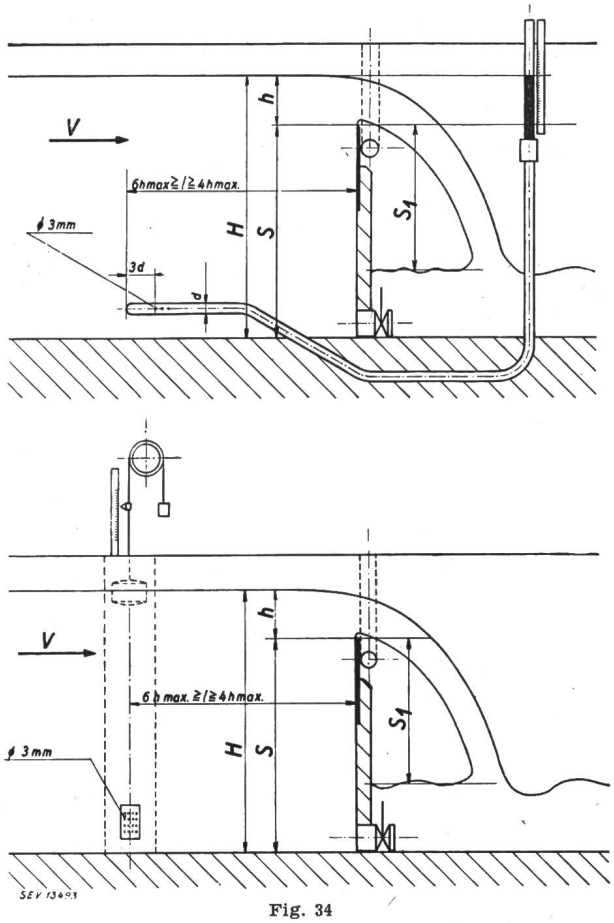

Fig. 34
Dispositifs de mesure de la charge h sur l'arête déversante
En haut: piézomètre avec tubulure horizontale de mesure de la pression
En bas: puits latéral à flotteur, avec crépine en tôle perforée

On pourra procéder comme suit:

a) A sec, au moyen d'un niveau à lunette ou d'une latte et d'un niveau à bulle (fig. 35);

b) En eau morte, en partant du niveau de l'eau en amont du déversoir et en déterminant l'influence du ménisque au moyen d'une équerre et d'une jauge à lames ou, si le niveau est abaissé, au moyen d'une équerre et d'une règle de profondeur (fig. 36).

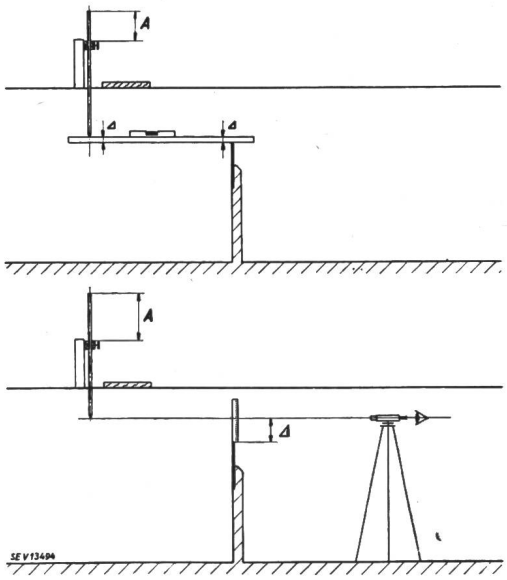

Fig. 35
Relevé au déversoir
Repérage du zéro du limnimètre à pointe à l'aide d'un niveau à bulle d'air (en haut) ou d'un niveau à lunette (en bas)

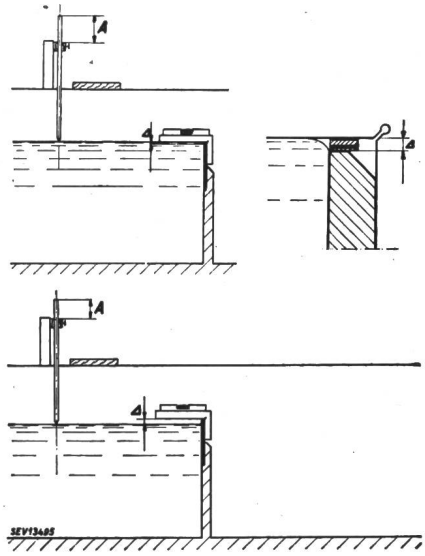

Fig. 36
Relevé au déversoir
Repérage du zéro du limnimètre à pointe, en eaux mortes, à l'aide du niveau tranquille de l'eau
En haut: mesure du ménisque
En bas: mesure du niveau abaissé

115. Calcul du débit

Si les prescriptions ci-dessus concernant le déversoir, le canal et la répartition des vitesses ont été observées, le débit pourra être calculé à l'aide de l'une des formules de déversoir indiquées ci-après et dont le choix devra, si possible, être arrêté déjà à la commande.

116. Formule générale pour le calcul du débit

La formule générale pour le calcul du débit d'un déversoir est, selon Du Buat-Poleni:

$$Q = \frac{2}{3}\,\mu\, b\, h\, \sqrt{2\,g\,h}$$

117. Coefficient de débit selon la SIA pour déversoir sans contraction latérale [Lit. 1]

Pour les déversoirs sans contraction latérale, le coefficient de débit μ doit être calculé selon la formule suivante, établie par la Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA):

$$\mu = 0{,}615\left(1 + \frac{1}{h + 1{,}6}\right)\left[1 + 0{,}5\left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right]$$

Dans cette formule, la charge h sur la crête et la hauteur s de la paroi du déversoir doivent être introduites en mm. Les valeurs de h et de s devront être comprises dans les limites suivantes:

Charge sur la crête	$25 \leqq h \leqq 800$ mm
Hauteur de la paroi du déversoir	$s \geqq 300$ mm
	$h/s \leqq 1$

118. Formule de Rehbock (1929) pour déversoir sans contraction latérale [Lit. 2]

La formule simplifiée de Rehbock conduit pratiquement aux mêmes résultats:

$$Q = \left(1{,}782 + 0{,}24\,\frac{h_e}{s}\right) b\, h_e \sqrt{h_e}$$

où h_e est la charge fictive sur la crête donnée par:

$$h_e = h + 0{,}0011 \text{ m}$$

Dans les formules qui précèdent, les valeurs de b, s, h et h_e doivent être introduites en m et Q sera exprimé en m³/s.

Le coefficient μ qui découle de ces formules et qui doit être introduit dans la formule générale donnée sous chiffre 116 a la valeur suivante:

$$\mu = \left(0{,}6035 + 0{,}0813\,\frac{h_e}{s}\right)\frac{h_e}{h}\sqrt{\frac{h_e}{h}}$$

119. Coefficient de débit selon la SIA pour déversoir avec contraction latérale [Lit. 1]

Pour le déversoir avec contraction latérale (voir fig. 31), le coefficient de débit doit être calculé selon la formule suivante, établie par la Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes:

$$\mu = \left[0{,}578 + 0{,}037\left(\frac{b}{B}\right)^2 + \frac{3{,}615 - 3\left(\frac{b}{B}\right)^2}{h + 1{,}6}\right] \cdot \left[1 + 0{,}5\left(\frac{b}{B}\right)^4\left(\frac{h}{h+s}\right)^2\right]$$

Pour $b = B$, μ est égal au coefficient de débit selon chiffre 117.

Dans cette formule, la charge h sur la crête et la hauteur s de la paroi du déversoir doivent être introduites en mm. Les valeurs de h et s devront être comprises dans les limites suivantes:

Charge sur la crête $\dfrac{25}{\left(\frac{b}{B}\right)} \leqq h \leqq 800$ mm

Hauteur de la paroi du déversoir $s \geqq 300$ mm

$h/s \leqq 1$

$0{,}3 \leqq \left(\frac{b}{B}\right) \leqq 0{,}8$

d) Réservoir étalonné

120. Généralités

La mesure du débit à l'aide d'un réservoir étalonné est rarement applicable aux essais de réception des turbines, ces réservoirs n'étant généralement utilisables que pour des débits relativement faibles.

121. Précision

A côté de la méthode des pesées, le jaugeage par réservoir étalonné demeure la méthode de mesure des débits la plus précise, à condition toutefois que le volume du réservoir soit adapté à l'importance du débit et que la capacité du réservoir puisse être déterminée avec exactitude.

122. Recommandations générales

On tiendra compte, lors des essais, des éléments suivants:

Déformation des parois du réservoir et, notamment s'il s'agit de réservoirs à demeure,

pluie, évaporation, vent,

apports et fuites visibles ou non (sources, inétanchéité, rives fissurées).

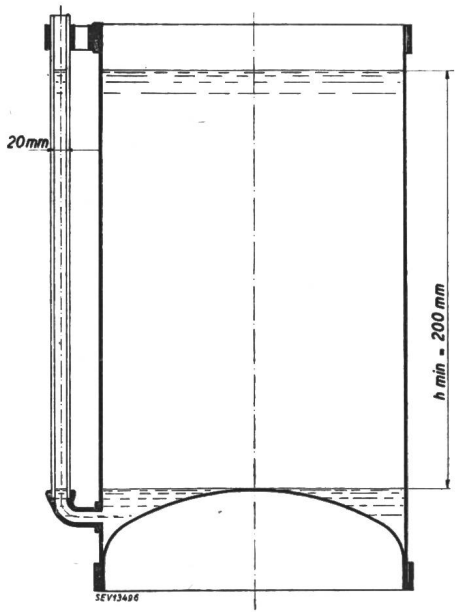

Fig. 37

Relevé au réservoir étalonné

Forme normale d'un réservoir de mesure transportable et disposition du tube piézométrique

123. Forme du réservoir

Les réservoirs étalonnés doivent répondre aux exigences suivantes (fig. 37):

a) Les parois des réservoirs transportables ne doivent pas être déformables; il est préférable de se servir de réservoirs cylindriques.

b) La forme des réservoirs fixes dépend des conditions locales; les dimensions de ces réservoirs seront relevées d'une manière très précise, de façon à établir exactement la loi de leur capacité en fonction de la cote du niveau de l'eau.

c) La détermination du volume est très simple quand il s'agit de réservoirs à section horizontale constante à tous les niveaux, surtout si cette section est circulaire.

124. Etalonnage

La capacité des réservoirs transportables doit être déterminée à la fois par pesée de l'eau et par relevé de leurs dimensions. On adoptera la moyenne obtenue par ces deux méthodes.

S'il s'agit de réservoirs fixes, on devra généralement se contenter d'en relever les dimensions.

125. Mesure

Le relevé du niveau, dans les réservoirs transportables, se fera à l'aide de piézomètres d'un diamètre intérieur d'au moins 20 mm (fig. 37).

Ce relevé, s'il s'agit de réservoirs fixes, pourra se faire aussi au moyen de flotteurs ou de limnimètres à pointe.

Si les réservoirs sont de grande section, le niveau de l'eau devra être relevé au moins en deux endroits.

126. Limites d'emploi

La différence de niveau h_{min} et la durée d'observation correspondante t_{min} doivent atteindre au moins les valeurs suivantes:

$$h_{min} = 200 \text{ mm}$$
$$t_{min} = 100 \text{ s}$$

Si, par suite des conditions locales, l'une de ces exigences ne peut pas être satisfaite, les essais seront renouvelés jusqu'à ce que l'erreur moyenne de la moyenne arithmétique de toutes les mesures individuelles ne dépasse pas $\pm 1\,\%$ (voir chiffre 143).

e) Tuyères de turbines

127. Généralités [4])

Les tuyères des turbines à action sont actuellement presque toutes normalisées; les constructeurs de turbines en ont généralement relevé les courbes d'étalonnage par de nombreux essais effectués dans leurs laboratoires (fig. 38).

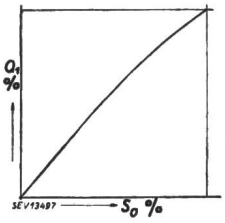

Fig. 38

Courbe du débit Q_1 d'un injecteur de turbine Pelton en fonction de la course s_0 du pointeau

Q_1 débit pour 1 m de hauteur de chute

C'est pourquoi, et pour peu que l'on connaisse encore l'influence exercée par la valeur absolue de la chute sur le débit spécifique Q_1 de la tuyère, et que le pointeau et la tuyère soient à l'état neuf, le débit pourra dans bien des cas être déduit, avec une précision suffisante, de la simple mesure de la course du pointeau et de la pression (fig. 39).

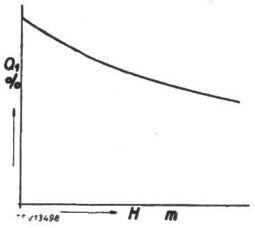

Fig. 39

Influence de la chute nette H sur le débit Q_1 (débit rapporté à une hauteur de chute de 1 m) d'un injecteur de turbine Pelton, pour une position constante s_0 du pointeau

Des essais comparatifs ont démontré que l'erreur est inférieure à $\pm 1\,\%$.

[4]) Voir [Lit. 3] à l'appendice.

f) Méthode des pesées

128. Généralités

En pratique, cette méthode, qui consiste à peser l'eau utilisée, est d'un emploi encore plus restreint que le jaugeage par réservoir étalonné.

129. Précision

La mesure du débit par la méthode des pesées donne les résultats les plus précis. La durée de la mesure t_{min} doit être d'au moins 100 s.

g) Ecran mobile

130. Généralités

La mesure du débit à l'aide d'un écran mobile n'est appliquée, sauf cas exceptionnels, que dans les laboratoires d'essais, car elle exige des dispositifs relativement coûteux.

131. Dispositif de mesure

L'écran mobile ne doit être utilisé que dans un canal rectiligne, long, de section constante, dans lequel il sera possible de réserver des parcours suffisants pour le démarrage et l'arrêt de l'écran.

Le chariot portant l'écran mobile doit être léger, bien suspendu et aisément mobile. L'interstice entre l'écran et les parois du canal ne devra pas dépasser 5 mm.

Les niveaux de l'eau au début et à la fin du tronçon de mesure doivent être maintenus constants et seront relevés avec la plus grande précision. La vitesse du chariot sera enregistrée, à l'aide d'un chronographe, par des contacts régulièrement espacés.

132. Précision

L'écran mobile permet des mesures simples et rapides et donne des résultats précis; cette méthode peut être comparée à celle de la mesure par réservoir étalonné.

h) Compteur Venturi

133. Généralités

Le compteur Venturi ne doit pas être utilisé pour les essais de réception, car l'exactitude de ses indications dépend de son mode d'installation et, de surcroît, se modifie avec le temps.

On peut cependant en recommander l'emploi comme appareil de contrôle (enregistrement des débits), mais à la condition de l'étalonner sur place.

i) Tuyères et diaphragmes normalisés

134. Généralités

Même normalisés, les tuyères et les diaphragmes, comme les compteurs Venturi, sont d'un emploi malaisé, parce que leurs indications se modifient à la longue et, surtout, dépendent du mode d'installation. Ces appareils provoquent en outre une perte de charge continue, souvent inadmissible et toujours indésirable.

Lorsqu'ils sont étalonnés sur place à l'aide d'une méthode précise, ils peuvent servir au contrôle du débit, mais non aux essais de réception.

k) Sondes

135. Généralités

Malgré les perfectionnements apportés à leur construction, les sondes ne conviennent guère qu'aux essais en laboratoire, et ne sont que rarement utilisées en pratique.

L'inconvénient de ces appareils réside dans le fait que leurs indications sont fonction du carré de la vitesse de l'eau, de sorte qu'aux charges partielles leur précision diminue sensiblement. Les sondes conviennent donc avant tout aux mesures qualitatives et sont utiles, par exemple, pour relever l'allure de la vitesse dans les zones périphériques au voisinage des parois, etc.

Parmi les exécutions spéciales, il y a lieu de signaler la sonde sphérique, le tube «Cole-Pitot» et le «photo-flow».

l) Méthode d'Allen

136. Procédé

Si l'on injecte dans une conduite forcée une solution concentrée d'un sel, on modifie la conductibilité de l'eau. Le passage de l'écran de solution saline entraîné par l'eau est enregistré par des électrodes montées le long de la conduite. La vitesse de cet écran entre deux électrodes permet, compte tenu du volume de la conduite entre ces électrodes, de déterminer le débit.

137. Généralités

Jusqu'ici la méthode d'Allen n'a pas été l'objet d'expériences nombreuses en Europe; les résultats connus ne sont pas satisfaisants, du fait de la trop grande dispersion qu'ils accusent. Pour l'instant, cette méthode n'est donc pas recommandable pour les essais de réception.

Le relevé exact des dimensions de la conduite entre les électrodes exige un arrêt prolongé de l'exploitation et les installations à prévoir sont coûteuses. On atteindra une précision satisfaisante avec une dépense du même ordre en utilisant des moulinets, méthode bien connue et très développée en Europe.

m) Méthode de Gibson

138. Procédé

La méthode de Gibson ou du coup de bélier est basée sur le relevé de l'augmentation de la pression qui se produit dans la conduite forcée lors de la fermeture de la turbine.

Elle s'applique sous forme simple ou différentielle et n'entre en ligne de compte que pour les turbines alimentées par des conduites ou des galeries sous pression.

139. Généralités

Comme le procédé d'Allen, la méthode de Gibson exige un appareillage coûteux, et son application est compliquée. Elle n'offre pas d'avantages marqués par rapport au jaugeage par moulinets et n'a été jusqu'ici que peu expérimentée en Europe, aussi n'est-elle pas recommandable pour les essais de réception, du moins pour l'instant.

n) Titration

140. Procédé

La méthode par titration, dite aussi méthode chimique, consiste à mélanger à l'eau de la turbine un débit constant et déterminé de solution salée, d'une concentration connue. Le degré de concentration de l'eau motrice, dans une section suffisamment éloignée de la première, permet de calculer le débit de la turbine.

La mesure du degré de concentration peut se faire par voie chimique, électrique ou optique.

141. Généralités

Cette méthode n'est pas applicable aux essais de réception, car l'homogénéité du mélange de l'eau motrice et de la solution salée n'est pas complète et, pour des concentrations différentes, le calcul des débits n'est pas possible sans connaissance des vitesses. On l'utilisera cependant lorsque l'emploi d'autres méthodes éprouvées est impossible en raison des conditions locales (débit des torrents).

o) Méthode thermodynamique (Mesure de la température)

142. Procédé

La méthode proposée par Barbillion et Poirson, qui consiste à mesurer la différence de température de l'eau à l'entrée et à la sortie de la turbine, a été perfectionnée notamment par Barbillion et a fait l'objet de recherches approfondies par l'Electricité de France [Lit. 10]. Sous certaines conditions, elle est maintenant applicable pour des chutes allant de 100 à 1000 m et donne des résultats d'une précision satisfaisante. Elle n'exige que peu de préparatifs, ne trouble guère l'exploitation de l'usine, de sorte qu'elle est pratiquement intéressante.

Cette méthode est basée sur le fait qu'une notable partie des pertes dans la turbine est transformée en chaleur. Il s'agit donc de mesurer l'échauffement de l'eau turbinée, ce qui exige naturellement l'emploi d'appareils de mesure de la température appropriés et très précis. Les pertes mécaniques dans les paliers et les presse-étoupe doivent être mesurées séparément.

En Suisse, on n'a pas encore d'expérience à ce sujet, notamment en ce qui concerne la détermination de toutes les pertes qui se produisent, de sorte que cette méthode ne peut pas encore être recommandée pour des essais de réception. Par contre, il serait utile de l'appliquer dans des cas appropriés en même temps que l'une des autres méthodes usuelles, afin d'obtenir des renseignements aussi sûrs que possible à son sujet.

p) Détermination de l'erreur

143. Méthode [5])

Si, pour une même charge de la turbine, on exécute plusieurs jaugeages, la précision des mesures sera donnée par le calcul de l'erreur moyenne.

Si le même débit a été mesuré n fois par le même procédé, en régime de stabilité parfaite, la simple moyenne arithmétique $\overline{Q}$ de toutes les valeurs mesurées Q_i pourra être admise comme valeur probable du débit. Si

$$Q_1, Q_2, Q_3 \ldots Q_n$$

sont les débits mesurés et n est le nombre de ces débits, le débit moyen Q est donné par:

$$\overline{Q} = \frac{Q_1 + Q_2 + Q_3 + \ldots + Q_n}{n} = \frac{i \sum_1^n (Q_i)}{n}$$

Si l'on désigne par $\Delta Q_i = Q_i - \overline{Q}$ les différences algébriques entre les valeurs mesurées Q_i et la moyenne arithmétique $\overline{Q}$, l'erreur absolue moyenne d'une mesure s'exprime par :

$$\overline{\Delta q} = \pm \sqrt{\frac{i \sum_1^n (\Delta Q_i)^2}{n-1}}$$

et l'erreur absolue moyenne de la moyenne arithmétique $\overline{Q}$ par

$$\overline{\Delta Q} = \pm \sqrt{\frac{i \sum_1^n (\Delta Q_i)^2}{n\,(n-1)}}$$

Exprimée en pourcents, l'erreur relative moyenne d'une mesure sera alors:

$$\psi_m = \pm\, 100 \cdot \frac{\overline{\Delta q}}{\overline{Q}} \text{ en } \%$$

et l'erreur relative moyenne de la moyenne arithmétique de toutes les mesures:

$$\varphi_m = \pm\, 100 \cdot \frac{\overline{\Delta Q}}{\overline{Q}} \text{ en } \%$$

II. Chute nette

a) Généralités

144. Nivellement

Les points fixes ou ceux qui servent de contrôle et de référence seront repérés par un nivellement et il est recommandable de les raccorder à des repères du nivellement national.

145. Nombre des lectures

Les lectures nécessaires pour la détermination de la chute nette doivent avoir lieu au moins toutes les deux minutes et au moins 10 fois pour chaque point de charge; la fréquence des lectures dépendra de la période des oscillations.

146. Vide

Pour déterminer la chute nette dans les turbines à réaction, il est nécessaire de mesurer le niveau de l'eau dans le canal de fuite. On ne tiendra pas compte, pour cette détermination, des indications du vide qui serait mesuré à l'entrée du tube d'aspiration.

Si, pour quelque motif que ce soit, ces indications sont tout de même relevées, il faudra s'assurer que la tubulure reliant le vacuomètre au tube d'aspiration soit constamment et complètement pleine d'air ou d'eau.

b) Mesures manométriques

147. Généralités

Si l'on dispose de deux conduites forcées (fig. 40), l'une alimentant la turbine, l'autre sous pression, mais sans débit, on déterminera la chute nette par la différence des pressions dans ces deux conduites.

[5]) Voir [Lit. 1] à l'appendice.

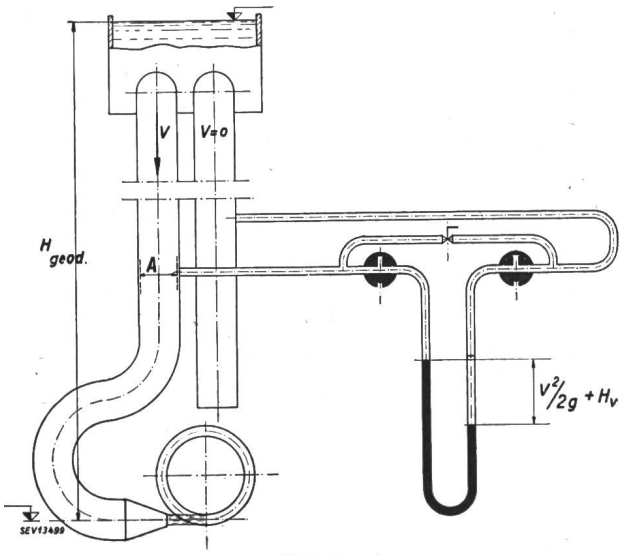

Fig. 40
Mesure de la pression
Détermination de la pression effective en amont de la turbine, par comparaison avec la pression statique d'une conduite forcée à débit nul
v Vitesse de l'eau dans la section de mesure A
H_v Perte de charge dans la conduite forcée

148. Section de mesure

On choisira la section de mesure de la pression, dans les conduites forcées, en tenant compte des observations suivantes (figure 41):

a) On évitera les prises de pression dans les points hauts comme dans les points bas de la conduite. Dans le premier cas, on risque l'introduction d'air dans la tubulure de liaison; dans le second cas, cette tubulure peut s'obstruer.

b) La prise doit se faire autant que possible sur un tronçon rectiligne et de section constante de la conduite; il est recommandable de prévoir deux prises.

c) Les prises piézométriques devront se trouver à une distance du coude amont le plus voisin au moins égale à 10 fois le diamètre de la conduite. Si le plan de symétrie du coude est vertical, on prévoira quatre prises situées aux deux extrémités de deux diamètres faisant un angle de 45° avec la verticale; s'il existe un coude en aval de la section de mesure, les prises seront disposées dans le plan de symétrie de ce coude.

d) Si l'écoulement est perturbé (par exemple par un coude amont situé à une distance de la section de mesure inférieure à 10 fois le diamètre de la conduite, ou par un coude aval suivant immédiatement cette section, ou par une

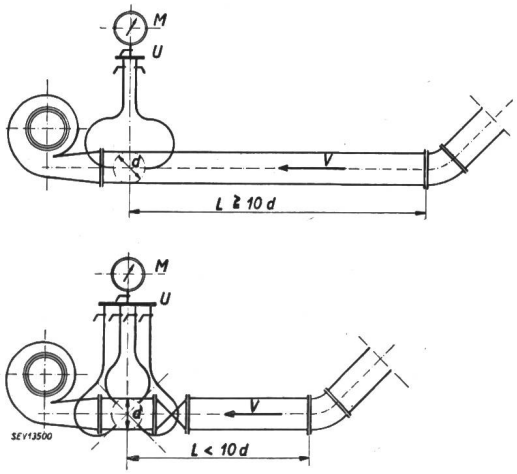

Fig. 41
Mesure de la pression aux extrémités d'un ou de deux diamètres (suivant la disposition de la conduite forcée en amont de la section de mesure)
M Manomètre; U Collecteur reliant les tubulures de mesure; d Diamètre intérieur de la conduite dans la section de mesure

vanne-tiroir la précédant), il faudra prévoir quatre prises aux extrémités de deux diamètres perpendiculaires l'un à l'autre.

149. Prises manométriques

Les prises manométriques seront exécutées comme suit (figure 42):

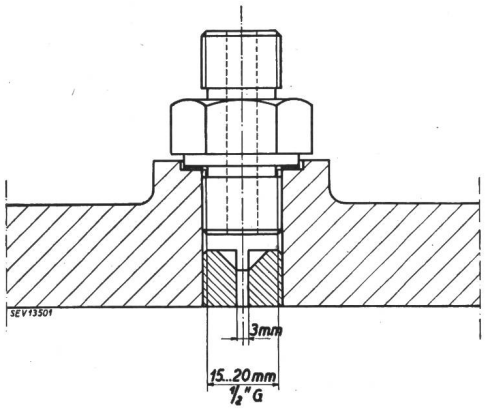

Fig. 42
Mesure de la pression
Montage du diaphragme et raccordement de la tubulure de mesure

a) Le trou doit avoir son axe parfaitement normal à la paroi et déboucher sans bavure, ni chanfrein.

b) Ce trou aura 3 mm de diamètre. Les trous plus petits ont tendance à se boucher. Les trous plus grands donnent facilement lieu à des erreurs de mesure.

c) Pour le raccordement de la tubulure de liaison, il faut prévoir un filetage de 15 à 20 mm ou de 1/2" gaz.

150. Tubulures de liaison

On aura soin de veiller à ce que les tubulures de liaison, pendant l'essai, soient constamment remplies d'eau et exemptes de bulles d'air. On facilitera l'évacuation de l'air en donnant à la tubulure de liaison un tracé ascendant sur tout son parcours depuis la prise jusqu'au manomètre, dans le voisinage duquel se trouvera le robinet de purge ayant une section de passage suffisante. On évitera rigoureusement les points hauts.

Si l'on dispose de plusieurs prises, la pression sera mesurée individuellement pour chacune d'elles, même si ces prises sont reliées au manomètre par une conduite circulaire.

On introduira dans les calculs la moyenne de toutes les pressions individuelles mesurées.

151. Appareil de mesure

Le choix de l'appareil destiné à la mesure de la pression dépend des considérations suivantes:

a) A cause de la capillarité, le diamètre intérieur des tubes en verre des *piézomètres* sera de 20 mm au moins.

b) Pour les *manomètres à mercure*, le diamètre du tube de verre sera d'au moins 8 mm dans la zone de lecture, à cause de la dépression capillaire du mercure. Le mercure sera périodiquement bouilli. S'il s'agit de mesurer de faibles différences de pression, le mercure pourra être remplacé par du tétrachlorure de carbone CCl_4 dont le poids spécifique sera déterminé avant et après l'essai au moyen de la pression fournie par une colonne d'eau. (Le CCl_4 est sensible aux variations de température).

c) A la place d'un tube en U à branches égales, on utilisera avec avantage un *pot muni d'un tube vertical*, d'une construction analogue à celle d'un baromètre à mercure. Le diamètre intérieur du pot doit atteindre au moins dix fois le diamètre intérieur du tube vertical (fig. 43).

d) Pour les faibles pressions, on pourra faire usage d'un tube en U renversé, contenant du toluol, d'un poids spécifique γ de 0,867 kg/dm³ (fig. 44).

e) Les *manomètres métalliques*, par exemple du type Bourdon, devront obligatoirement être étalonnés avant et après les essais.

Un manomètre métallique est dit de précision lorsque son aiguille, qui doit être de champ, prend constamment, pour la même pression, la même position de l'échelle.

C'est entre 50 et 75 % de leur échelle que les manomètres métalliques donnent les indications les plus sûres.

Le manomètre métallique ne doit être étalonné chaque fois que dans le domaine de mesure dans lequel il va être utilisé.

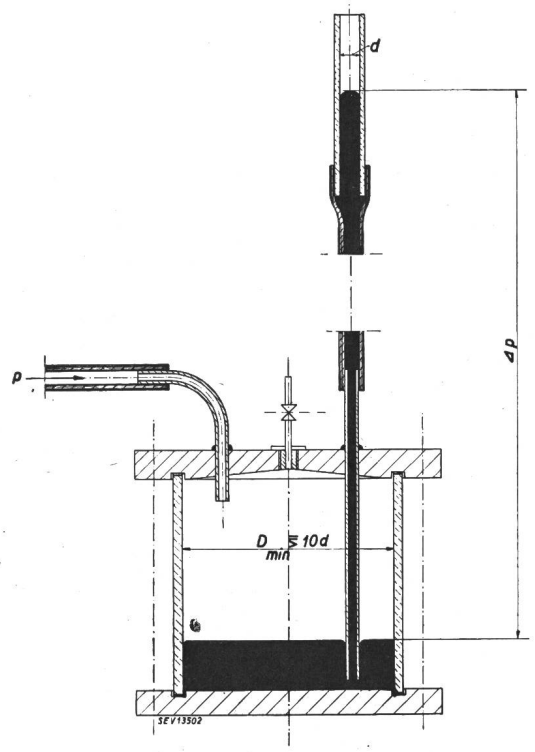

Fig. 43
Mesure de la pression: pot à mercure avec tube vertical
p Tubulure d'arrivée de la pression; d Diamètre intérieur du tube en verre du piézomètre; Δp Hauteur manométrique

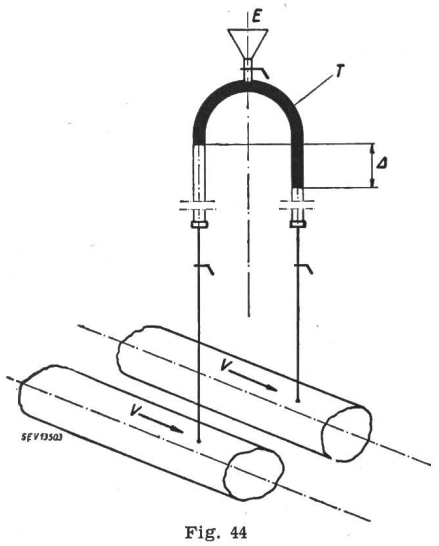

Fig. 44
Mesure de faibles différences de pression
Tube en U renversé rempli d'un liquide de densité $\gamma < 1$ kg/dm³
E Entonnoir de remplissage; T Toluol (γ = 0,867 kg/dm³)

152. Etalonnage

L'étalonnage des manomètres peut s'effectuer comme suit:

a) Au moyen d'un manomètre étalon à poids, avant et après les essais.

b) Par comparaison avec la chute statique (chute géodésique pour $Q = 0$) avant et après les essais.

Ces deux méthodes d'étalonnage doivent être utilisées comme suit: la méthode a) fournit la caractéristique de l'appareil de mesure, la méthode b) donne la valeur absolue de ses indications.

153. Influence de la différence de pression barométrique et de la compressibilité de l'eau

Si la mesure de la pression se fait à l'aide d'un manomètre à poids, ou lorsque l'étalonnage des manomètres a été exécuté à l'aide d'un appareil à poids, la chute géodésique H_w doit être calculée comme suit, en partant de la pression H_G déterminée par le manomètre à poids [Lit. 4]:

$$H_w = H_G + \Delta B - \Delta G,$$

où

$$\Delta B = k H_G \text{ en m},$$

tient compte de l'influence de la différence des pressions barométriques entre le niveau d'amont et l'emplacement du manomètre,

$$\Delta G = \frac{1}{1000} \left(\frac{p}{2}\right)^2 \text{ en m},$$

tient compte de l'influence de la compressibilité de l'eau (valable pour des températures de l'eau dans les limites usuelles),

H_w est exprimée en m

$H_G = 10\ p$ est exprimée en m, où p, mesuré par le manomètre à poids, est exprimé en kg/cm².

Pour une altitude de l'emplacement du manomètre à poids, comprise entre 100 et 2000 m au-dessus du niveau de la mer, le facteur k est donné par:

$$k = \frac{1{,}1}{1000}$$

Ce facteur k variant très peu avec l'altitude, on peut, dans les limites d'altitude qui viennent d'être indiquées, adopter sans autre la valeur de k ci-dessus.

c) Niveaux libres

154. Emplacement de mesure

Les niveaux libres doivent être mesurés là où le courant est aussi tranquille que possible et exempt de perturbations locales; la mesure s'opère par des limnimètres à pointe.

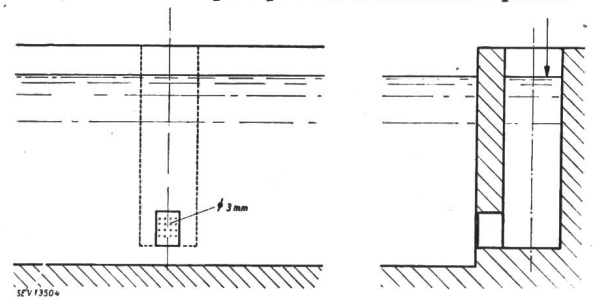

Fig. 45
Mesure d'un niveau libre
Raccordement au puits de mesure, par crépine en tôle perforée

Si l'on est obligé d'avoir recours à des puits ou à des piézomètres, les prises seront aménagées d'une manière analogue à celles destinées aux mesures de la pression (fig. 45).

155. Niveau dans le canal de fuite

Il y a lieu de vouer une attention particulière à la détermination de la cote de la ligne d'énergie à l'aval de la turbine, surtout quand il s'agit d'installations à basse chute. A part quelques rares exceptions, cette détermination peut s'opérer selon l'une des méthodes a), b), c) ou d) suivantes:

a) On mesurera, dans le canal de fuite, le niveau maximum *général* du plan d'eau, au besoin en plusieurs points répartis sur la sortie de l'aspirateur ou sur la largeur du canal.

Lorsque plusieurs turbines débouchent dans le canal de fuite, l'on tiendra compte, lors du calcul de la hauteur représentative de l'énergie cinétique, de la section du canal attribuable à la turbine essayée.

En principe, on se basera sur les indications des figures 1 à 6 du chapitre 9.

b) Quand il s'agit d'usines au fil de l'eau, le niveau du plan d'eau peut être mesuré directement à la sortie du tube d'aspiration, la hauteur représentative de l'énergie cinétique devant alors être calculée pour la section de sortie effective de ce tube qui est parfaitement déterminée. Dans ce cas, le plan de mesure M_a des figures 2, 3, 4 et 6 du chiffre 9 se confond avec cette section.

Pour des sections de sortie normalement dimensionnées, cette méthode de mesure fournit, pour la ligne d'énergie, des valeurs qui correspondent bien avec celles obtenues par la méthode a), pour autant que le niveau du plan d'eau à la sortie immédiate du tube d'aspiration ne soit pas sensiblement influencé par des courants latéraux.

c) Au cas où les méthodes a) ou b) ne seraient pas applicables ou ne permettraient pas d'obtenir une précision suffisante, ce qui peut se présenter pour les usines souterraines ou de barrages, on mesurera la pression statique de sortie au lieu de la cote du plan d'eau.

Il y aura lieu de prévoir, dès la commande, l'aménagement d'un nombre suffisant de prises de pression pour piézomètres (selon chiffre 154, figure 45), surtout si la section de mesure n'a pas une forme circulaire.

d) Enfin la section de mesure M_a pourra être reportée également à l'intérieur du tube d'aspiration, à l'amont immédiat de la section de sortie; des mesures de pression appropriées seront effectuées dans cette section et on tiendra compte, s'il y a lieu, de l'influence éventuelle de la rotation de la masse liquide en mouvement.

Les méthodes b), c) et d) sont admissibles lorsque le tube d'aspiration présente une section de sortie normalement dimensionnée telle que $S \geqq 3\,D_s^2$ (où D_s est le plus petit diamètre du manteau à l'aval des aubes motrices et S la surface de la section de mesure à la sortie de l'aspirateur). Lorsque cela n'est pas le cas, pour des raisons spéciales, une entente devra intervenir en temps utile.

Les déterminations selon a) et b) sont particulièrement importantes pour les installations à basse chute à vitesse spécifique élevée, tandis que ce n'est plus le cas pour les installations à haute chute équipées de turbines Francis, pour lesquelles le pourcentage de l'énergie de restitution est faible.

156. Dispositifs de mesure

Pour la mesure des niveaux libres, on évitera d'utiliser des échelles limnimétriques fixes.

On se servira de préférence, soit de limnimètres à pointe, soit d'un ruban métallique gradué terminé par un plateau suspendu (fig. 46).

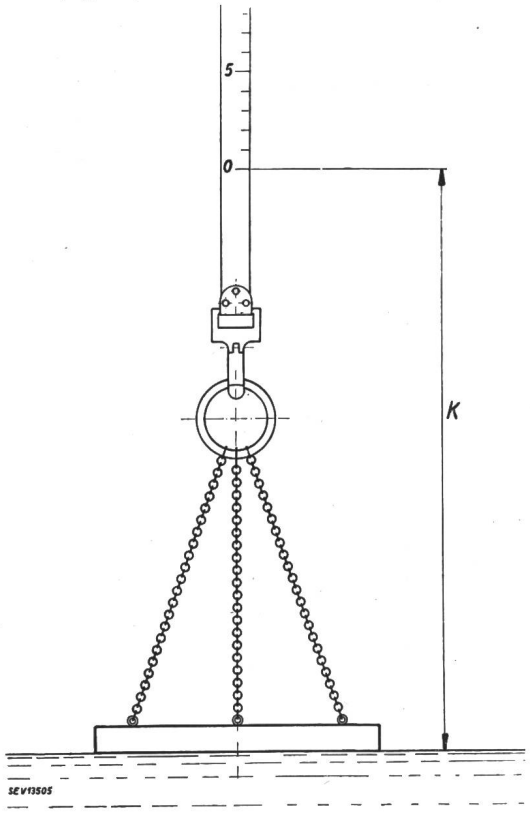

Fig. 46
Mesure d'un niveau libre
Ruban d'acier gradué avec plateau suspendu

III. Puissance de la turbine

a) Généralités

157. Méthode

Les méthodes suivantes sont applicables à la mesure de la puissance de la turbine.

Mesure directe:
Dynamomètre de torsion,
Frein (mécanique, hydraulique ou électrique).

Mesure indirecte:
Mesure de la puissance fournie par la génératrice.

Actuellement, la puissance de la turbine est presque toujours déterminée par la puissance utile fournie par la génératrice. La mesure par freinage direct ou par dynamomètre de torsion n'a lieu que dans des cas exceptionnels.

b) Rendement de la génératrice

158. Définition

La puissance utile est la puissance fournie aux bornes de la génératrice.

La puissance absorbée est la puissance à l'arbre de la génératrice.

Le rapport entre la puissance utile et la puissance absorbée donne le rendement de la génératrice.

159. Pertes totales

Au sens des présentes Règles, on entend par pertes totales de la génératrice la différence entre la puissance absorbée et la puissance active débitée.

Les pertes de la génératrice ainsi définies englobent donc aussi les pertes par frottement provoquées par la génératrice dans les paliers (voir chiffre 14).

160. Mesures des pertes

La mesure des rendements ou des pertes des génératrices se fera conformément aux Règles de l'ASE pour les machines électriques tournantes, Publ. n° 188 de l'ASE [Lit. 7].

Les pertes par frottement provoquées dans les paliers par la génératrice devront être ajoutées aux pertes de la génératrice mesurées en appliquant les règles susnommées, pour autant qu'il n'en aura pas été déjà tenu compte dans l'établissement du rendement de la génératrice.

c) Puissance aux bornes

161. Emplacement de mesure

La puissance utile sera mesurée directement aux bornes de la génératrice.

S'il n'est pas possible de procéder ainsi, la puissance mesurée devra être augmentée des pertes existant entre les bornes de la génératrice et l'emplacement de mesure.

162. Appareils de mesure

a) La puissance utile sera mesurée à l'aide d'un appareillage spécial prévu dans ce but, qui ne comprendra que des appareils de précision alimentés par des transformateurs de mesure de précision étalonnés. Cet appareillage devra être aménagé de manière à exclure toutes sources d'erreurs.

b) Si l'on dispose de quatre fils, la mesure du courant triphasé se fera par la méthode des trois wattmètres.

Les transformateurs de mesure devront servir exclusivement aux appareils prévus pour cette mesure.

c) Dans certains cas, on pourra utiliser des compteurs qui, cependant, devront être étalonnés avec les transformateurs correspondants. En principe, les instruments à aiguille sont préférables aux compteurs.

d) Si les shunts utilisés pour la mesure de courant continu d'intensité considérable accusent une erreur d'environ ± 1 %, la tolérance pour la puissance et le rendement des turbines devra être augmentée de 1 %. Si l'erreur des shunts est supérieure à ± 1 %, ces tolérances seront augmentées en conséquence (voir chiffres 29 et 30).

e) Les appareils et les transformateurs de mesure de tableau ne sont pas admis pour les essais de réception.

d) Freinage mécanique

163. Généralités

Pour le freinage mécanique d'une turbine, il s'agit essentiellement de déterminer avec précision les grandeurs suivantes:

Vitesse de rotation,
longueur du bras de levier du frein,
tare du frein.

164. Charge additionnelle

Les charges additionnelles des paliers, causées par le poids et la charge du frein, ne sont pas imputables à la turbine.

Si la turbine est à axe vertical, le frein devra être suspendu sans que la suspension provoque une torsion.

On tiendra compte également de l'impulsion exercée par l'eau de refroidissement du frein.

165. Arbre secondaire

Le freinage mécanique sur un arbre secondaire entraîné par courroie ou par câble est dangereux et doit être par conséquent proscrit.

e) Puissances perdues

166. Régulateur

Si le régulateur est directement entraîné par la turbine, la puissance qu'il absorbe et qui intervient dans le calcul de la puissance de la turbine sera celle que le constructeur a garantie (voir chiffre 14c).

Pour juger du régulateur à ce point de vue, on pourra cependant mesurer cette puissance.

167. Pertes par ventilation

Pour la détermination des pertes par ventilation de volants nus ou enfermés, de différentes formes, des essais ont été entrepris et ont permis d'établir des formules de calcul applicables à chaque cas particulier [Lit. 9].

Il en est de même pour les pertes par ventilation de roues de turbines Pelton [Lit. 9].

168. Pertes de transmission

La perte de puissance dans les organes de transmission sera au besoin déterminée, par une mesure séparée, dans les conditions de service existant lors des essais de la turbine.

On pourra déterminer les pertes dans les engrenages, etc., par la mesure de la quantité de chaleur évacuée par l'huile de graissage. Si cette méthode directe n'est pas applicable, on utilisera la méthode indirecte qui consiste à mesurer des différences de température dues à des puissances additionnelles connues et on extrapolera à la puissance additionnelle nulle [Lit. 5].

169. Divers

Afin de simplifier les essais et d'éviter toutes sources d'erreurs superflues, on débrayera si possible toutes les machines auxiliaires entraînées par l'arbre de la turbine.

Si cela n'est pas possible, la puissance absorbée par ces machines devra être déterminée séparément, ou fixée d'un commun accord.

IV. Vitesse de rotation

170. Mesure électrique de la puissance (mesure indirecte)

Dans tous les cas où la vitesse de rotation ne sert pas directement au calcul de la puissance de la turbine, c'est-à-dire lorsque la puissance est mesurée électriquement aux bornes de la génératrice, on se contentera de relever la vitesse de rotation du groupe à l'aide d'un fréquencemètre; il est cependant recommandé de procéder à un contrôle du fonctionnement du fréquencemètre au moyen d'un tachymètre à main étalonné ou d'un tachygraphe.

171. Freinage (mesure directe de la puissance)

Si la puissance de la turbine est déterminée par freinage ou par un dynamomètre de torsion, on utilisera des tachymètres de précision.

La vitesse de rotation devra être mesurée aussi directement et simplement que possible. Si le régime stable est bien établi, on pourra se servir dans ce but d'un compteur combiné avec un chronomètre à déclic.

V. Variations de vitesse

172. Généralités

Les variations de vitesse lors des essais de réglage doivent être mesurées à l'aide d'un tachygraphe étalonné. On observera simultanément, si possible, le déplacement de l'organe de réglage.

VI. Variations de pression

173. Généralités

Les variations de pression lors des essais de réglage doivent être relevées à l'aide d'un manomètre enregistreur étalonné.

Si le manomètre ne peut pas être raccordé directement à la conduite forcée, la tuyauterie de raccordement devra être aussi courte que possible.

174. Appareils de mesure

Pour l'enregistrement de ces variations de pression, qui sont généralement rapides, il est préférable de se servir d'indicateurs à ressort; s'il s'agit de pressions élevées, le ressort aura une tension préalable.

Les manomètres métalliques ordinaires ne sont utilisables que pour des oscillations de pression à fréquence relativement faible.

La fréquence propre de l'appareil de mesure devra être au moins trois à quatre fois supérieure à la fréquence des oscillations de pression à mesurer.

S'il est fait usage de manomètres à aiguille à maximum, celle-ci devra être freinée de telle sorte que son élongation coïncide pratiquement avec l'indication de l'aiguille principale.

Appendice

Liste des ouvrages et articles cités

[Lit. 1] Die SIA-Normen für Wassermessungen bei Durchführung von Abnahmeversuchen an Wasserkraftmaschinen. Etablies par la Société suisse des ingénieurs et des architectes. Zurich, 1924.

[Lit. 2] *Rehbock, Th.:* Wassermessung mit scharfkantigen Überfallwehren. Z. VDI t. 73(1929), p. 817 ff.

[Lit. 3] *Gerber, H.:* Wassermessung in Freistrahlturbinenanlagen. Schweiz. Bauztg. t. 117(1941), nº 14, p. 149...151.

[Lit. 4] *Dubs, R.:* Die Bestimmung der geodätischen Höhendifferenz H durch Messung der Pressung p mit Gewichtsmanometer und Beobachtung des atmosphärischen Druckes p_a. Bull. ASE t. 35(1944), nº 18, p. 499...505.

[Lit. 5] *Tobler, H.:* Zur Inbetriebsetzung und Abnahme von Kraftmaschinen. Escher Wyss Mitt". t. 15/16 (1942/43), p. 170...172.

[Lit. 6] *Dubs, R.:* Angewandte Hydraulik, p. 178...184. Zurich, Rascher 1947.

[Lit. 7] Règles pour les machines électriques tournantes. Première édition. Publ. nº 188 de l'Association Suisse des Electriciens (ASE). Zurich, 1951.

[Lit. 8] Recommandations au sujet du réglage de vitesse des groupes turbine hydraulique — alternateur. Première édition. Publ. nº 0205 de l'Association Suisse des Electriciens (ASE). Zurich, 1956.

[Lit. 9] Communications de l'Institut des machines et installations hydrauliques de l'Ecole Polytechnique Fédérale, à Zurich. Fascicule nº 1. Zurich, 1956. Ces Communications renferment:
Dubs, R.: Der Luftwiderstand von Schwungrädern, Riemenscheiben, Kupplungen und Scheiben. Bull. ASE t. 45(1954), nº 20, p. 829...838.
Gerber, H.: Ventilationsverluste von Freistrahlturbinen-Laufrädern. Bull. ASE t. 47(1956), nº 9, p. 389...420.

[Lit. 10] *Willm, G.* et *P. Campas:* Mesure du rendement des turbines hydrauliques par la méthode thermométrique de Poirson. Houille Blanche t. 9(1954), nº 4, p. 449...460, et nº 5, p. 590...607.

[Lit. 11] *Hutton, S. P.:* Component Losses in Kaplan Turbines and the Prediction of Efficiency from Model Tests. Proc. Instn. Mech. Engrs. t. 168(1954), nº 28, p. 743...762.

Autres ouvrages et articles

Allen, G. M., et *Taylor, E. A.:* The salt velocity method of water measurement. Trans". Amer. Soc. Mech. Engrs. t. 14(1923).

Braun, W.: Messung strömender Wassermengen auf chemischem Wege. Diss. TH München, 1924.

Dietrich, W.: Wassermessungen mit Überfall in der Zentrale Handeck der Kraftwerke Oberhasli. Schweiz. Bauztg. t. 99(1932), nº 1, p. 1...4; nº 2, p. 20...22 et nº 3, p. 39.

Gibson, N. R.: The Gibson method and apparatus etc. Conférence présentée à l'Assemblée annuelle de l'Amer. Soc. Mech. Engrs., du 3 au 6 décembre 1932.

Hailer, R.: Fehlerquellen bei der Überfallmessung. Mitt". Hydr. Inst. Techn. Hochschule München, fascicule 2, p. 65 ff., fascicule 3, p. 1 ff.

Henn, W.: Grundlagen der Wassermessung mit dem hydrometrischen Flügel. VDI-Forschungsheft, t. 8(1937), nº 385, éd. B.

Kirschmer, O.: Vergleichswassermessungen am Walchenseewerk. Z. VDI t. 74(1930), p. 521...528, 740 ff.

Kirschmer, O., et *Esterer, B.:* Die Genauigkeit einiger Wasserverfahren. Z. VDI t. 74(1930), p. 1499 ff.

Kirschmer, O.: Das Salzverdünnungsverfahren für Wassermessungen. Wasserkraft u. Wasserwirtsch. t. 26(1931), nº 18, p. 213...221.

Lütschg, O.: Über unsere letzten Erfahrungen mit dem Titrationsverfahren für Wassermessungen. Wasserkraft u. Wasserwirtsch. t. 23(1928), nº 7, p. 97...104.

Müller, K. E.: Die Salzgeschwindigkeits-Methode von Allen zur Wassermessung in Rohrleitungen. Schweiz. Bauztg. t. 87(1926), nº 3, p. 41...44.

Ott, L. A.: Wassermessung bei Wasserkraftanlagen (Flügel usw.). Tirage à part du Wasserkraftjahrbuch, année 1924. Munich, 1924.

Ott, L. A.: Theorie und Konstantenbestimmung des hydrometrischen Flügels. Berlin, 1925.

Schoder, E. W., et *Turner, K. B.:* Precise weir measurements. Amer. Soc. Civil Engrs., Paper 1711.

Stauss, A.: Der Genauigkeitsgrad von Flügelmessungen bei Wasserkraftanlagen. Berlin, 1926.

Thoma, D.: Die Auswertung der Druckdiagramme von Gibson. Wassermessungen beim Auftreten von Nachschwingungen in der Rohrleitung. Mitt". Hydr. Inst. Techn. Hochschule München, fascicule 6.

Code d'essais des installations hydrauliques. Hauteur de chute ou d'élévation et Pertes de charge, Deuxième édition, nº 2. Mesure des débits, Deuxième édition, nº 3, 4 et 5. Paris: Soc. hydrotechn. de France, 1951.

Ce numéro comprend la revue des périodiques de l'ASE (4...5)

Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, édité par l'Association Suisse des Electriciens comme organe commun de l'Association Suisse des Electriciens et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité. — Rédaction: Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens, 301, Seefeldstrasse, Zurich 8, téléphone (051) 34 12 12, compte de chèques postaux VIII 6133, adresse télégraphique Elektroverein Zurich. Pour les pages de l'UCS: place de la Gare 3, Zurich 1, adresse postale Case postale Zurich 23, adresse télégraphique Electrunion Zurich, compte de chèques postaux VIII 4355. — La reproduction du texte ou des figures n'est autorisée que d'entente avec la Rédaction et avec l'indication de la source. — Le Bulletin de l'ASE paraît toutes les 2 semaines en allemand et en français; en outre, un «annuaire» paraît au début de chaque année. — Les communications concernant le texte sont à adresser à la Rédaction, celles concernant les annonces à l'Administration. — Administration: case postale Hauptpost, Zurich 1 (Adresse: S. A. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Stauffacherquai 36/40, Zurich 4), téléphone (051) 23 77 44, compte de chèques postaux VIII 8481. — Abonnement: Tous les membres reçoivent gratuitement un exemplaire du Bulletin de l'ASE (renseignements auprès du Secrétariat de l'ASE). Prix de l'abonnement pour non-membres en Suisse fr. 50.— par an, fr. 30.— pour six mois, à l'étranger fr. 60.— par an, fr. 36.— pour six mois. Adresser les commandes d'abonnements à l'Administration. Prix des numéros isolés fr. 4.—.

Rédacteur en chef: **H. Leuch, ingénieur, secrétaire de l'ASE.**
Rédacteurs: **H. Marti, E. Schiessl, H. Lütolf, R. Shah, ingénieurs au secrétariat.**