

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
193**

Première édition
First edition
1965

**Code international concernant
les essais de réception sur modèle
des turbines hydrauliques**

**International code for model acceptance tests
of hydraulic turbines**

IECNORM.COM: Click to view the PDF of IEC 193:1965



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 193: 1965

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)*.

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60 000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)*.

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
193

Première édition
First edition
1965

**Code international concernant
les essais de réception sur modèle
des turbines hydrauliques**

**International code for model acceptance tests
of hydraulic turbines**

© CEI 1965 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

X

Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	8
PRÉFACE	8
PREMIÈRE PARTIE — RECOMMANDATIONS GÉNÉRALES	
INTRODUCTION	10
CHAPITRE I — OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION	
1. Types de turbines	12
2. Sujets exclus	12
CHAPITRE II — TERMINOLOGIE, DÉFINITIONS, SYMBOLES ET UNITÉS	
1. Systèmes de mesure	14
2. Terminologie	14
2.1 Débit	14
2.2 Section	14
2.3 Vitesse moyenne	14
2.4 Pression	14
2.5 Poids spécifique de l'eau	16
2.6 Hauteur de chute et charge	16
2.7 Puissance absorbée et fournie	24
2.8 Rendement	24
2.9 Vitesse	24
2.10 Cavitation	24
3. Clarifications	26
Tableau I : Variation de γ de l'eau	26
Tableau II : Variation de l'accélération g	28
CHAPITRE III — NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES TECHNIQUES	
1. Généralités	30
2. Garanties principales	30
2.1 Puissance maximale	30
2.2 Rendement	30
3. Came des turbines Kaplan	32
4. Autres garanties	32
4.1 Vitesse d'emballement	32
4.2 Cavitation	32
CHAPITRE IV — CONDITIONS A REMPLIR POUR LES ESSAIS	
1. Installations d'essais	34
1.1 Caractéristiques de l'eau	34
1.2 Conditions d'alimentation	34
1.3 Fluctuation pendant chacun des essais	34
1.4 Mesure du débit	34
1.5 Pertes d'eau	34
1.6 Chutes	34
1.7 Couple	36
1.8 Vitesse	36
2. Similitude du modèle	36
2.1 Echelle du modèle et dimensions minimales	36
2.2 Similitude	38
2.3 Vérification de la similitude géométrique entre le modèle et le prototype	38
2.4 Ecartes tolérables de similitude géométrique du prototype par rapport au modèle	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
PREFACE	9
PART 1 — GENERAL RECOMMENDATIONS	
INTRODUCTION	11
CHAPTER I — OBJECT AND SCOPE	
1. Types of turbines	13
2. Excluded topics	13
CHAPTER II — TERMS, DEFINITIONS, SYMBOLS AND UNITS	
1. Measuring systems	15
2. List of terms	15
2.1 Rate of flow or discharge	15
2.2 Area	15
2.3 Mean velocity	15
2.4 Pressure	15
2.5 Specific weight of water	17
2.6 Head	17
2.7 Input and output	25
2.8 Efficiency	25
2.9 Speed	25
2.10 Cavitation	25
3. Clarifications	27
Table I: Variation of γ of water	27
Table II: Variation of the acceleration g	29
CHAPTER III — NATURE AND EXTENT OF TECHNICAL GUARANTEES	
1. General	31
2. Main guarantees	31
2.1 Maximum output	31
2.2 Efficiency	31
3. Cam relationship of Kaplan turbines	33
4. Other guarantees	33
4.1 Runaway speed	33
4.2 Cavitation	33
CHAPTER IV — TEST CONDITIONS TO BE FULFILLED	
1. Test plant	35
1.1 Condition of water	35
1.2 Flow conditions	35
1.3 Fluctuations during individual test runs	35
1.4 Measurement of the water discharge	35
1.5 Water losses	35
1.6 Heads	35
1.7 Torque	37
1.8 Speed	37
2. Model similitude	37
2.1 Model scale and minimum size	37
2.2 Similarity	39
2.3 Checking the geometric similarity of model and prototype	39
2.4 Permissible deviations in geometric similarity between prototype and model	41

CHAPITRE V — MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS

1. Choix du laboratoire	44
2. Période des essais	44
3. Personnel	44
4. Programme d'essais	44
4.1 Type d'essais	44
4.2 Etendue des essais	44
4.3 Instruments de mesure	44
5. Inspection	44
6. Etalonnage	46
7. Essais préliminaires	46
8. Comptes rendus	46
9. Répétition des essais	46
10. Coût de la répétition d'un essai	46

CHAPITRE VI — CALCUL DES RÉSULTATS

1. Calcul des caractéristiques du modèle	48
1.1 Généralités	48
1.2 Comparaison au rendement garanti sur modèle	48
1.3 Comparaison au rendement modèle transposé	48
1.4 Comparaison à la puissance garantie sur modèle	50
1.5 Comparaison à la puissance du prototype	50
2. Incertitudes de mesure	50
2.1 Généralités	50
2.2 Erreurs accidentelles et systématiques	50
2.3 Mesures	50
3. Erreurs de mesures partielles	50
3.1 Débit	52
3.2 Surface libre	52
3.3 Pression	52
3.4 Puissance	52
3.5 Mesures du temps	52
3.6 Hauteur de chute	52
4. Rendement de la turbine	54
5. Erreur accidentelle dans les mesures	54
6. Application des formules d'effet d'échelle	54
7. Vitesse d'emballement	54

CHAPITRE VII — RAPPORT FINAL

1. Préparation du rapport	56
2. Teneur du rapport final	56

DEUXIÈME PARTIE — MÉTHODES DE MESURE

CHAPITRE VIII — MÉTHODES DE MESURE DU DÉBIT

1. Mesure des débits par jaugeage volumétrique	58
1.1 Installation	60
1.2 Dispositif de vidange	60
1.3 Mesure des cotes du plan d'eau	60
1.4 Dispositif d'injection d'eau	60
1.5 Mode opératoire	60
1.6 Corrections	62
1.7 Emploi de deux réservoirs jaugés	62
2. Mesure du débit par pesée	62
2.1 Réservoir d'entonnement	64
2.2 Balance	64
2.3 Injection d'eau et mesure du temps	64
2.4 Mode opératoire	64
2.5 Précautions	64

CHAPTER V — TEST PROCEDURE

1. Choice of laboratory	45
2. Time for tests	45
3. Personnel	45
4. Test programme	45
4.1 Type of test	45
4.2 Extent of test	45
4.3 Measuring instruments	45
5. Inspection	45
6. Calibration	47
7. Preliminary test	47
8. Records	47
9. Repetition of tests	47
10. Cost of repeated test	47

CHAPTER VI — COMPUTATION OF RESULTS

1. Calculation of model performance	49
1.1 General	49
1.2 Comparison to guaranteed model efficiency	49
1.3 Comparison to scaled-up model efficiency	49
1.4 Comparison to guaranteed model output	51
1.5 Comparison to prototype output	51
2. Inaccuracies in measurement	51
2.1 General	51
2.2 Random and systematic errors	51
2.3 Measurements	51
3. Individual errors in measurement	51
3.1 Rate of water flow	53
3.2 Free level	53
3.3 Pressure	53
3.4 Output	53
3.5 Time	53
3.6 Head	53
4. Turbine efficiency	55
5. Random errors in measurement	55
6. Application of scale formula	55
7. Runaway speed	55

CHAPTER VII — FINAL REPORT

1. Preparation of report	57
2. Content	57

PART 2 — METHODS OF MEASUREMENT

CHAPTER VIII — METHODS OF DISCHARGE MEASUREMENT

1. Discharge measurements by volumetric measurement	59
1.1 Installation	61
1.2 Drain valve	61
1.3 Measurement of height of water	61
1.4 Method of inflow	61
1.5 Method of operation	61
1.6 Corrections	63
1.7 Use of two calibrated reservoirs	63
2. Gravimetric method	63
2.1 Collecting tank	65
2.2 Weighing device	65
2.3 Switching and timing	65
2.4 Method of operation	65
2.5 Precautions	65

	Pages
3. Ecran mobile d'Andersson	66
3.1 Principe de la méthode	66
3.2 Installations	66
3.3 Mesure de la vitesse de translation de l'écran	66
3.4 Détermination de la section du canal	68
3.5 Contrôles en cours d'essai	68
4. Déversoirs	68
5. Appareils déprimogènes	68
6. Autres méthodes	68

CHAPITRE IX — MÉTHODES DE MESURE DES HAUTEURS

1. Conditions générales	70
2. Plan d'eau libre	70
3. Appareils pour la mesure des plans d'eau libre	72
3.1 Pointes droites ou recourbées	72
3.2 Limnigraphes	72
3.3 Manomètres à liquides	72
4. Mesure de pression statique	72
4.1 Choix des sections de mesure	74
4.2 Nombre et emplacement des prises de pression	74
4.3 Prises de pressions statiques	76
4.4 Canalisations de raccordement	76
5. Instruments de mesure de la pression	78
5.1 Manomètres à colonne de liquide	78
5.2 Manomètre à poids	82
5.3 Balance de pression	84
5.4 Manomètres à membrane métallique	84
6. Dispositif d'amortissement	86
7. Contrôle des manomètres	86
8. Mesure du vide	86
8.1 Généralités	86
8.2 Canalisation à vide	86

CHAPITRE X — MÉTHODES DE MESURE DE LA PUISSANCE

1. Généralités	88
2. Mesure du couple	88
2.1 Frein mécanique	88
2.2 Frein hydraulique	90
2.3 Frein électrique ou électromagnétique	92
2.4 Dynamomètre de torsion	94
3. Précautions pour éviter les erreurs de mesure du couple	94
3.1 Canalisations du fluide de refroidissement	94
3.2 Paliers supports	94
3.3 Connexions électriques	94
3.4 Tarage	96
4. Mesure de la vitesse	96
5. Pertes	96

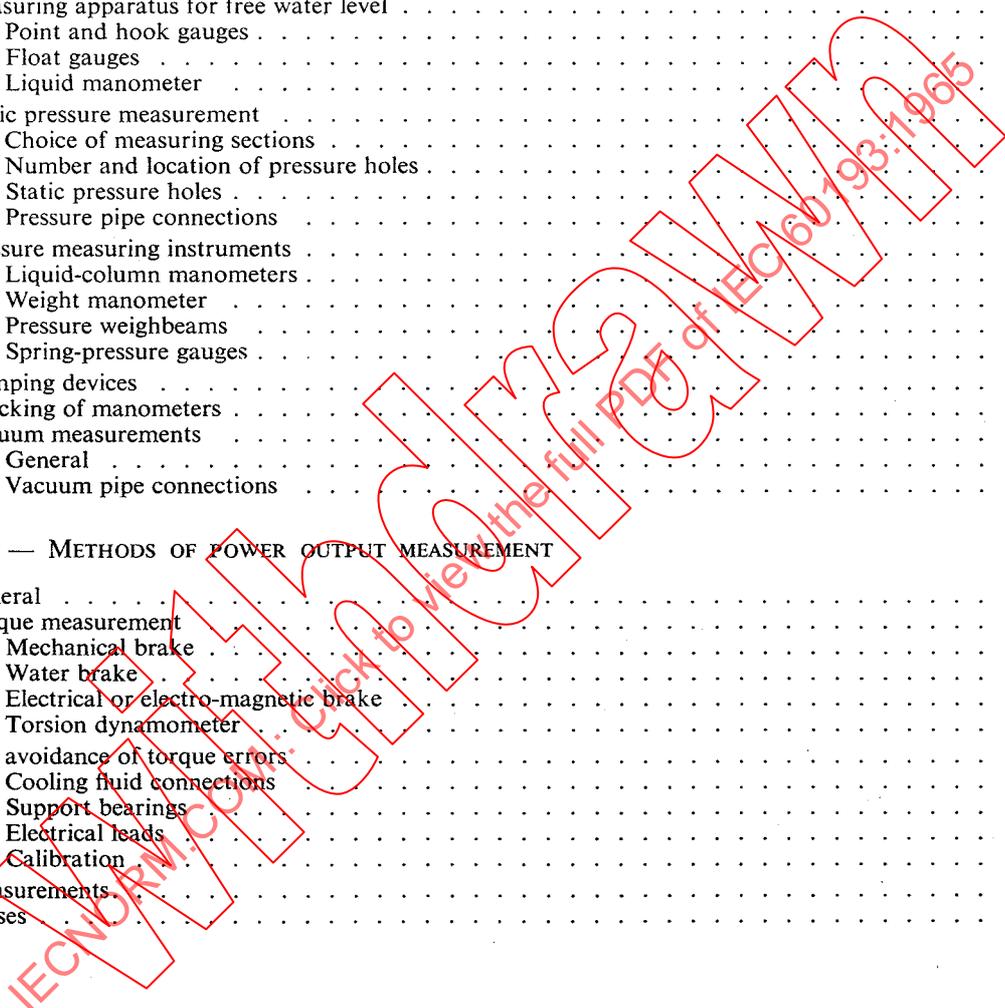
	Page
3. Andersson's movable screen	67
3.1 Basic principle	67
3.2 Installations	67
3.3 Measurement of the travel velocity of the screen	67
3.4 Determination of the canal cross-section	69
3.5 Control during the run	69
4. Weirs	69
5. Differential meters	69
6. Other methods	69

CHAPTER IX — METHODS OF HEAD MEASUREMENT

1. General conditions	71
2. Free water level	71
3. Measuring apparatus for free water level	73
3.1 Point and hook gauges	73
3.2 Float gauges	73
3.3 Liquid manometer	73
4. Static pressure measurement	73
4.1 Choice of measuring sections	75
4.2 Number and location of pressure holes	75
4.3 Static pressure holes	77
4.4 Pressure pipe connections	77
5. Pressure measuring instruments	79
5.1 Liquid-column manometers	79
5.2 Weight manometer	83
5.3 Pressure weighbeams	85
5.4 Spring-pressure gauges	85
6. Damping devices	87
7. Checking of manometers	87
8. Vacuum measurements	87
8.1 General	87
8.2 Vacuum pipe connections	87

CHAPTER X — METHODS OF POWER OUTPUT MEASUREMENT

1. General	89
2. Torque measurement	89
2.1 Mechanical brake	89
2.2 Water brake	91
2.3 Electrical or electro-magnetic brake	93
2.4 Torsion dynamometer	95
3. The avoidance of torque errors	95
3.1 Cooling fluid connections	95
3.2 Support bearings	95
3.3 Electrical leads	95
3.4 Calibration	97
4. Measurements	97
5. Losses	97



COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CODE INTERNATIONAL
CONCERNANT LES ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE
DES TURBINES HYDRAULIQUES**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N°4 de la C E I : Turbines hydrauliques.

A la suite de la réunion tenue à Zurich en 1957, une décision fut prise concernant la structure du Code et les différents chapitres qu'il devait contenir. Plusieurs groupes de travail furent alors constitués en vue d'établir les projets des différents chapitres.

A la suite de la réunion tenue à Madrid en 1959, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1962.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Roumanie
Canada	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suède
France	Suisse
Inde	Tchécoslovaquie

Comme c'est le cas pour tous les codes, il apparaîtra certainement souhaitable d'en entreprendre la révision et, après quelques années, il conviendra probablement de publier une édition révisée du Code d'essais sur modèle des turbines hydrauliques sur la base de l'expérience acquise par l'utilisation de ce Code.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INTERNATIONAL CODE
FOR MODEL ACCEPTANCE TESTS
OF HYDRAULIC TURBINES**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by I E C Technical Committee No. 4, Hydraulic Turbines.

The outline of the Code and the various chapters were decided upon at the meeting held in Zurich in 1957, when a number of Working Groups were set up to prepare the drafts of the different chapters.

Following the meeting held in Madrid in 1959, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1962.

The following countries voted explicitly in favour of publication :

Austria	Japan
Australia	Netherlands
Belgium	Norway
Canada	Romania
Czechoslovakia	Sweden
France	Switzerland
Germany	United Kingdom
India	United States of America

As with all Codes, revisions will be found desirable and, after the Model Test Code for Hydraulic Turbines has been in use for several years, it will undoubtedly be desirable to issue a revised edition based on the experience gained in its use.

CODE INTERNATIONAL CONCERNANT LES ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE DES TURBINES HYDRAULIQUES

Première partie — Recommandations générales

INTRODUCTION

A la place, ou en complément d'essais sur place, des essais sur modèle peuvent être utilisés comme base pour les essais de réception de turbines hydrauliques. Il peut arriver que les conditions d'essais sur place ne puissent être obtenues facilement ou de façon complète relativement aux hypothèses de garantie ou, plus généralement, que les conditions requises par le code d'essai sur place des turbines hydrauliques, désigné ci-après comme code d'essai C E I, ne puissent être satisfaites. Pour ces raisons ou pour d'autres, il est possible de conclure un accord entre l'acheteur et le fournisseur en vue de remplacer les essais sur place d'une turbine prototype par les essais d'un modèle semblable en vue de déterminer les performances du prototype.

La décision du choix entre essais sur place ou sur modèle pour chacune des quantités garanties doit être prise aussitôt que possible et de préférence une déclaration parfaitement claire doit être comprise dans l'appel d'offres.

Même quand les essais sur place ont été préparés, des essais sur modèle peuvent être définis par un accord supplémentaire dans le cas où les essais sur place deviendraient impossibles ou ne conviendraient pas.

INTERNATIONAL CODE FOR MODEL ACCEPTANCE TESTS OF HYDRAULIC TURBINES

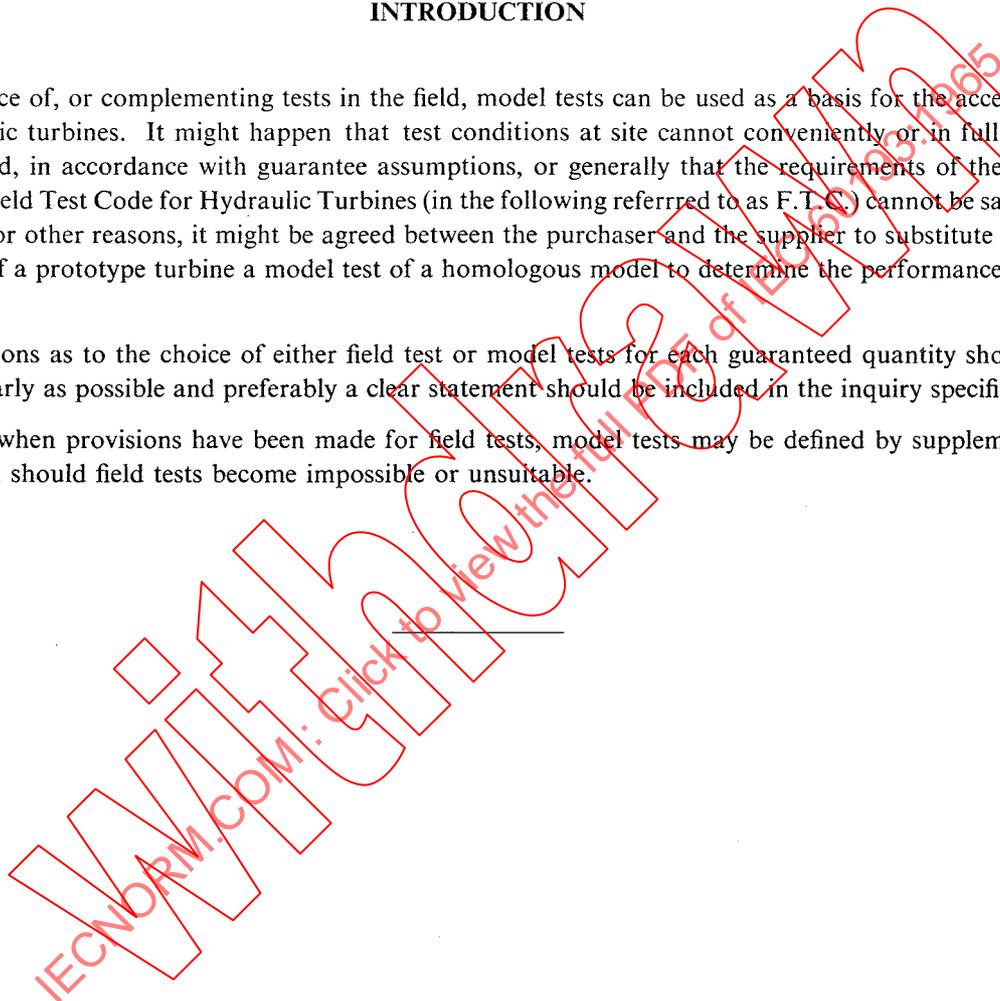
Part 1 — General Recommendations

INTRODUCTION

In place of, or complementing tests in the field, model tests can be used as a basis for the acceptance of hydraulic turbines. It might happen that test conditions at site cannot conveniently or in full extent be obtained, in accordance with guarantee assumptions, or generally that the requirements of the International Field Test Code for Hydraulic Turbines (in the following referred to as F.T.C.) cannot be satisfied. For these or other reasons, it might be agreed between the purchaser and the supplier to substitute for the field test of a prototype turbine a model test of a homologous model to determine the performance of the prototype.

Decisions as to the choice of either field test or model tests for each guaranteed quantity should be taken as early as possible and preferably a clear statement should be included in the inquiry specification.

Even when provisions have been made for field tests, model tests may be defined by supplementary agreement, should field tests become impossible or unsuitable.



CHAPITRE I — OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Le but de ce code est d'établir les modalités pour la préparation et l'exécution des essais modèles au laboratoire, aussi bien que de calculer les résultats obtenus, de manière à ce que les performances hydrauliques de la turbine modèle et les performances correspondantes du prototype puissent être connues.

1. Types de turbines

Le présent code est applicable en général à toutes les turbines hydrauliques à action ou à réaction essayées au laboratoire.

2. Sujets exclus

- 2.1 Ce code exclut tous les sujets à caractère purement commercial excepté ceux intimement liés à la bonne conduite des essais de réception.
- 2.2 Ce code ne concerne pas les détails de construction de la turbine ni les propriétés mécaniques de ses différentes parties, pour autant que celles-ci n'affectent pas les performances du modèle réduit.
- 2.3 Les essais sur modèles réduits effectués en vue d'améliorer les performances ne sont pas spécialement étudiés dans ce code. Il est recommandé cependant que l'équipement et les méthodes décrites dans ce code soient appliquées aux essais courants de laboratoire, de manière à les tenir prêts pour les essais de réception.

CHAPTER I — OBJECT AND SCOPE

The purpose of this code is to establish arrangements for the preparation and execution of laboratory model tests, as well as to evaluate the results obtained so that the hydraulic performance of a model turbine and of the corresponding prototype turbine can be ascertained.

1. Types of turbines

In general the code applies to any type of hydraulic reaction or impulse turbine tested under laboratory conditions.

2. Excluded topics

- 2.1 This code excludes all matters of purely commercial interest except those inextricably bound up with the conduct of the acceptance tests.
- 2.2 This code is not concerned with the structural details of the turbines nor with the mechanical properties of their components, so long as these do not affect model performance.
- 2.3 Model tests for research performance are not specially dealt with in this code. It is recommended, however, that equipment and methods described in the code be applied in the current testing work in the laboratory, to keep it prepared for acceptance tests.

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60703:1995

With Water

CHAPITRE II — TERMINOLOGIE, DÉFINITIONS, SYMBOLES ET UNITÉS

1. Systèmes de mesure

Le système métrique d'unités est adopté dans tout ce code mais d'autres systèmes pourront lui être préférés.

Les termes, définitions, symboles et unités adoptés dans ce code sont récapitulés ci-dessous :

2. Terminologie

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.1	<i>Débit</i>	Volume d'eau passant en une seconde dans une section spécifiée.	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.1	Débit de la turbine	Volume d'eau absorbé par seconde par la turbine, comprenant les fuites du pressé-étoupe et des tuyaux d'équilibrage, mais à l'exclusion de l'eau utilisée pour le fonctionnement du dynamomètre et des machines auxiliaires et pour le refroidissement des paliers.	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.2	Débit garanti	Débit de la turbine correspondant aux valeurs garanties de la hauteur de chute, de la puissance et de la vitesse.	Q_r	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.3	Débit à vide	Débit de la turbine à vide à la vitesse normale et sous la hauteur de chute garantie.	Q_o	m ³ /s (ft ³ /s)
2.2	<i>Section</i> (voir figures 1 à 4)	Aire de la section transversale normale à la direction générale du courant.	A	m ² (ft ²)
2.2.1	Section d'entrée de la turbine	a) Dans les installations à surface libre, aire de la section fixée d'un commun accord à l'aval de la grille d'entrée de la turbine. b) Dans les installations comportant une conduite en charge, aire de la section transversale au point de mesure, fixé d'un commun accord, près de la bêche de la turbine, à l'aval de la vanne de garde.	A_1	m ² (ft ²)
2.2.2	Section de sortie de la turbine	Dans les turbines à réaction : aire de la section de l'aspirateur normale à l'écoulement à la sortie du tuyau d'aspiration et définie d'un commun accord. Dans les installations sans tuyau d'aspiration classique, l'emplacement de la section de sortie doit être défini d'un commun accord. Dans les turbines à action, l'aire de la section de sortie ne peut être définie; elle est supposée infiniment grande.	A_2	m ² (ft ²)
2.3	<i>Vitesse moyenne</i>	Valeur du débit divisée par l'aire de la section : $v = Q/A$	v	m/s (ft/s)
2.4	<i>Pression</i>	Pression en un point quelconque du système exprimée en force par unité de surface.	p	kp/cm ² (lbf/in ²)

CHAPTER II — TERMS, DEFINITIONS, SYMBOLS AND UNITS

1. Measuring systems

The metric system of units is adopted throughout the code but other systems shall be allowed if preferred.

The terms, definitions, symbols and units adopted in this code are listed below :

2. List of terms

Term	Definition	Symbol	Units
2.1 <i>Rate of flow or discharge</i>	Volume of water per second passing a specified section.	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.1 Turbine discharge	Volume of water used by the turbine per second, including leakage water in stuffing boxes and turbine thrust relief pipes but excluding water required for operation of the dynamometer auxiliary machinery and for cooling of bearings.	Q	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.2 Guaranteed discharge	Turbine discharge at guaranteed head, output and speed.	Q_r	m ³ /s (ft ³ /s)
2.1.3 No-load discharge	Turbine discharge at no-load and normal speed and guaranteed head.	Q_o	m ³ (ft ³ /s)
2.2 <i>Area</i> (see Figures 1 to 4)	Cross-sectional area normal to the general direction of flow.	A	m ² (ft ²)
2.2.1 Area at turbine inlet	a) In plants with open flume, the area of the agreed section downstream of turbine inlet screen. b) In plants with closed conduit, the area of section through the agreed measuring point near the turbine casing downstream of inlet valve.	A_1	m ² (ft ²)
2.2.2 Area at turbine outlet	In reaction turbines, the area of draft tube cross-section normal to the flow at the outlet end of the draft tube must be mutually agreed. In plants not having a typical draft tube, the location of the outlet section must be mutually agreed upon. In impulse turbines, the area of cross-section at outlet cannot be defined and is assumed infinitely large.	A_2	m ² (ft ²)
2.3 <i>Mean velocity</i>	Rate of flow divided by area of cross-section: $v = Q/A$	v	m/s (ft/s)
2.4 <i>Pressure</i>	The pressure at any point in the system expressed as force per unit area.	p	kp/cm ² (lbf/in ²)

Termes	Définition	Symbole	Unité	
2.4.1	Pression manométrique	Indication donnée par un appareil de mesure de pression en un point quelconque du système.	p_g	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.2	Pression à l'entrée de la turbine	Pression manométrique au point de mesure à l'entrée corrigée de la différence d'altitude entre l'appareil de mesure et ce point.	p_1	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.3	Pression à la sortie de la turbine	Pression manométrique au point de mesure à la sortie corrigée de la différence d'altitude entre l'appareil de mesure et ce point.	p_2	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.5	Poids spécifique de l'eau ¹⁾	Poids apparent dans l'air de l'unité de volume d'eau absorbée par la turbine.	γ	kp/dm ³ (lbf/ft ³)
2.6	<i>Hauteur de chute et charge</i>			
2.6.1	Hauteur manométrique (ou charge de pression)	Hauteur d'eau équivalente à la pression en un point de l'installation.	h_p	m (ft)
2.6.2	Hauteur dynamique (ou charge due à la vitesse)	Hauteur équivalente au carré de la vitesse moyenne divisé par 2 fois l'accélération de la pesanteur : $h_v = \frac{v^2}{2g}$ ²⁾	h_v	m (ft)
2.6.3	Hauteur potentielle (ou charge de position)	Altitude d'un point de mesure au-dessus du niveau de la mer ou d'un autre niveau de référence.	z	m (ft)
2.6.4	Hauteur totale (ou charge énergétique totale)	Somme de la hauteur potentielle, de la hauteur manométrique et de la hauteur dynamique: $h_t = z + h_p + h_v$	h_t	m (ft)
2.6.5	Hauteur de chute nette	Hauteur utilisable pour faire travailler la turbine; elle est égale à la différence des hauteurs totales entre l'entrée et la sortie. (Voir exemples des figures 1 à 4.)	H_n	m (ft)

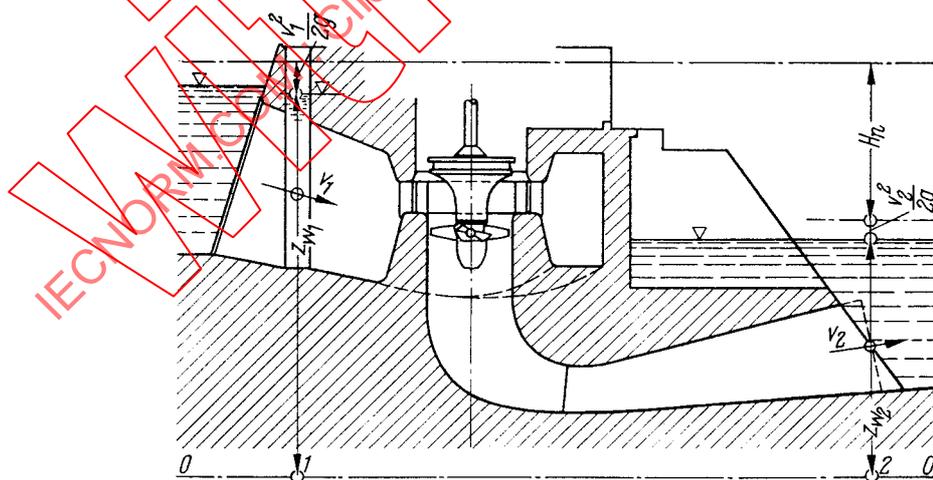


FIG. 1. — Turbine à réaction (Francis, Hélice, Kaplan). Bâche d'entrée à section rectangulaire, en béton, aspirateur coudé.

$$H_n = (z_{w1} - z_{w2}) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

¹⁾ Voir tableau I à la fin du chapitre II: Valeurs de γ .

²⁾ Voir tableau II à la fin du chapitre II: Valeurs de g .

Term	Definition	Symbol	Units	
2.4.1	Gauge pressure	The reading given by a gauge of the pressure at any point in the system.	p_g	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.2	Pressure at inlet to turbine	The gauge pressure at the inlet measuring point corrected for the elevation of gauge.	p_1	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.4.3	Pressure at outlet from turbine	The gauge pressure at the outlet measuring point corrected for elevation of gauge.	p_2	kp/cm ² (lbf/in ²)
2.5	Specific weight of water ¹⁾	The weight in air of unit volume of water used by turbine.	γ	kp/dm ³ (lbf/ft ³)
2.6	Head			
2.6.1	Pressure head	The head of water equivalent to the pressure at any point in the system.	h_p	m (ft)
2.6.2	Velocity head	The head equivalent to the square of the mean velocity divided by twice the acceleration of gravity: $h_v = \frac{v^2}{2g}$ ²⁾	h_v	m (ft)
2.6.3	Potential head (Geodetic head)	Elevation of a measuring point above mean sea level or other reference datum.	z	m (ft)
2.6.4	Total head	The sum of potential head, pressure head and velocity head, in a given section: $h_t = z + h_p + h_v$	h_t	m (ft)
2.6.5	Net head	The head available for doing work on the turbine; it is the difference between total head at inlet and outlet. (See illustrative examples shown in Figures 1 to 4.)	H_n	m (ft)

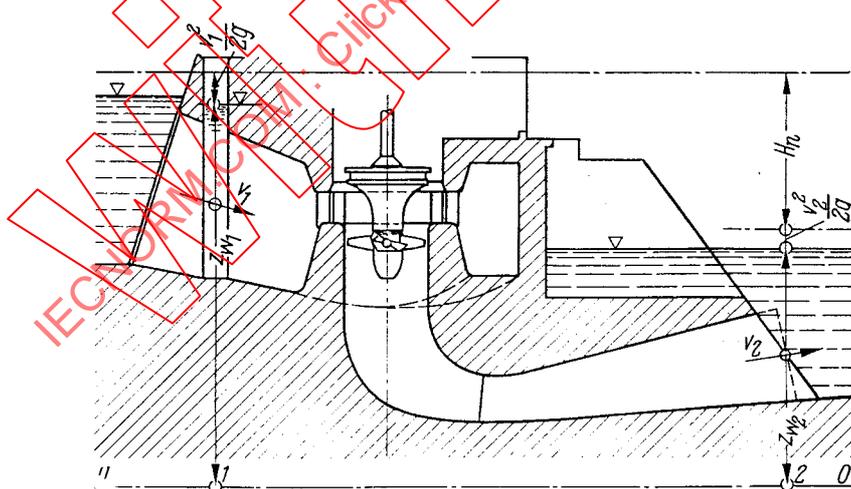


FIG. 1. — Reaction turbine (Francis, Propeller, Kaplan). Rectangular spiral casing in concrete; draft tube bend.

$$H_n = (z_{w1} - z_{w2}) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

¹⁾ See tabulated values of γ at end of this chapter, Table I.

²⁾ See tabulated values of g at end of this chapter, Table II.

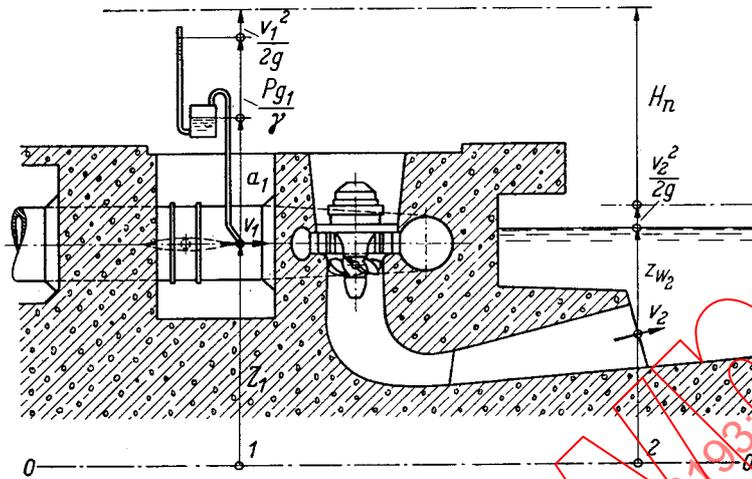


FIG. 2. — Turbine à réaction. Bâche spirale à section circulaire.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{w_2}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(métrique)

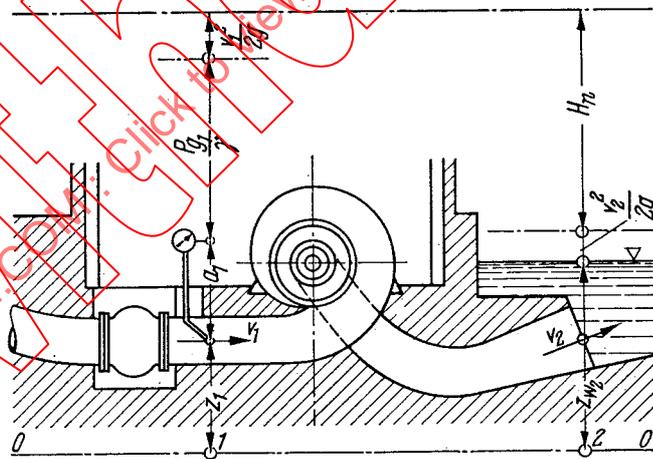


FIG. 3. — Turbine à réaction, axe horizontal.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{w_2}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(métrique)

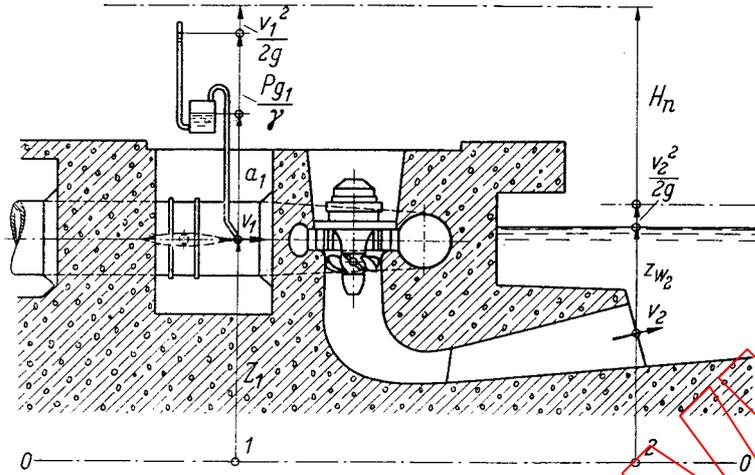


FIG. 2. — Reaction turbine. Spiral casing with circular section.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{w2}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(metric)

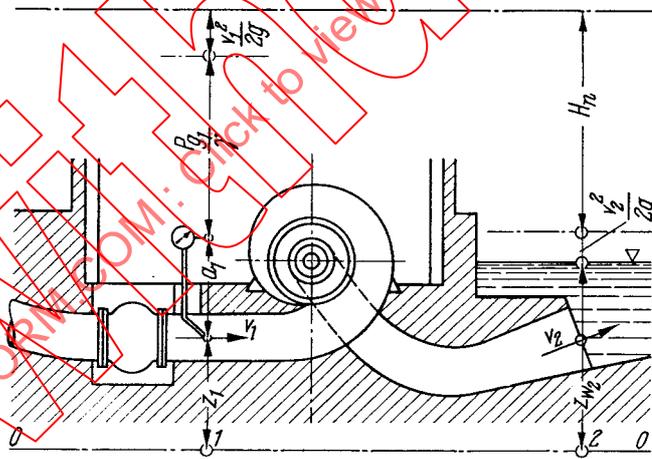


FIG. 3. — Reaction turbine. Horizontal shaft.

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_{w2}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2g}$$

(metric)

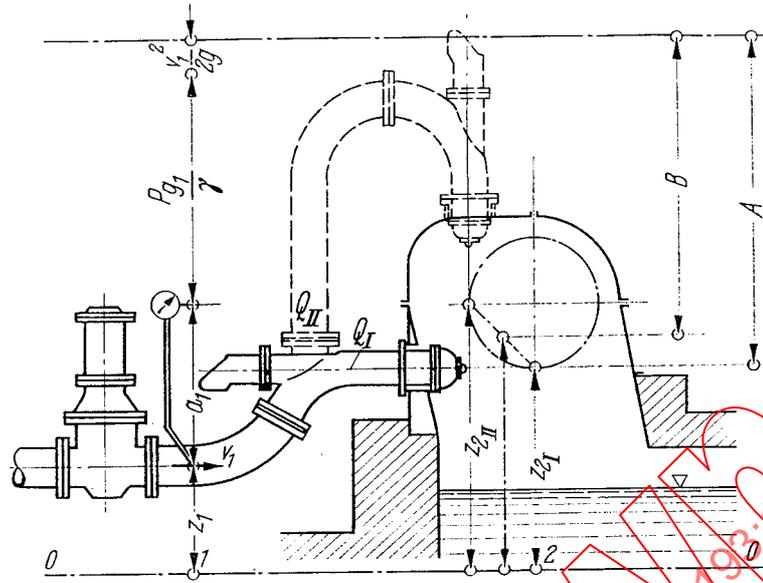


FIG. 4. — Turbine Pelton.

A: à un injecteur

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_2) + 10 \cdot \frac{p_{gI}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

B: à deux injecteurs

$$H_n = \frac{Q_I}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 - z_2) + \frac{Q_{II}}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 + z_{2II}) + 10 \cdot \frac{p_{gI}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

(métrique)

Termes	Définition	Symbole	Unité
2.6.6	Hauteur de chute garantie	H_r	m (ft)
2.6.7	Perte de charge	H_l	m (ft)
2.6.8	Position de l'instrument de mesure	a	m (ft)
2.6.9	Hauteur barométrique (charge barométrique)	h_b	m (ft)
2.6.10	Tension de vapeur	h_{va}	m (ft)
2.6.11	Hauteur géométrique d'aspiration	h_s	m (ft)

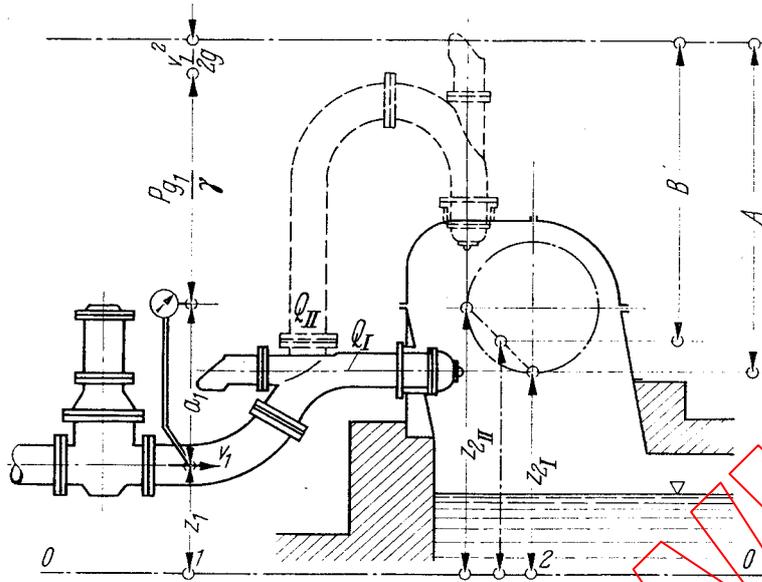


FIG. 4. — Impulse turbine.

A: Single nozzle

$$H_n = (z_1 + a_1 - z_2) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

B: Twin nozzle

$$H_n = \frac{Q_I}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 - z_{2I}) + \frac{Q_{II}}{Q_I + Q_{II}} (z_1 + a_1 - z_{2II}) + 10 \cdot \frac{p_{g1}}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g}$$

(metric)

Term	Definition	Symbol	Units	
2.6.6	Guaranteed head	The net head for which the turbine is ordered.	H_r	m (ft)
2.6.7	Loss of head	Loss of total head between any two sections.	H_l	m (ft)
2.6.8	Height of measuring instrument	The difference in elevation between the datum for which the measuring instrument is calibrated and the location of the measured point.	a	m (ft)
2.6.9	Barometer height	The height of the water barometer corresponding to the atmospheric pressure at the corresponding temperature.	h_b	m (ft)
2.6.10	Vapour pressure	The height of the column of water corresponding to the vapour pressure at the temperature of the test water.	h_{va}	m (ft)
2.6.11	Geodetic suction head	Height of turbine or runner above tail-water level (see Figure 5).	h_s	m (ft)

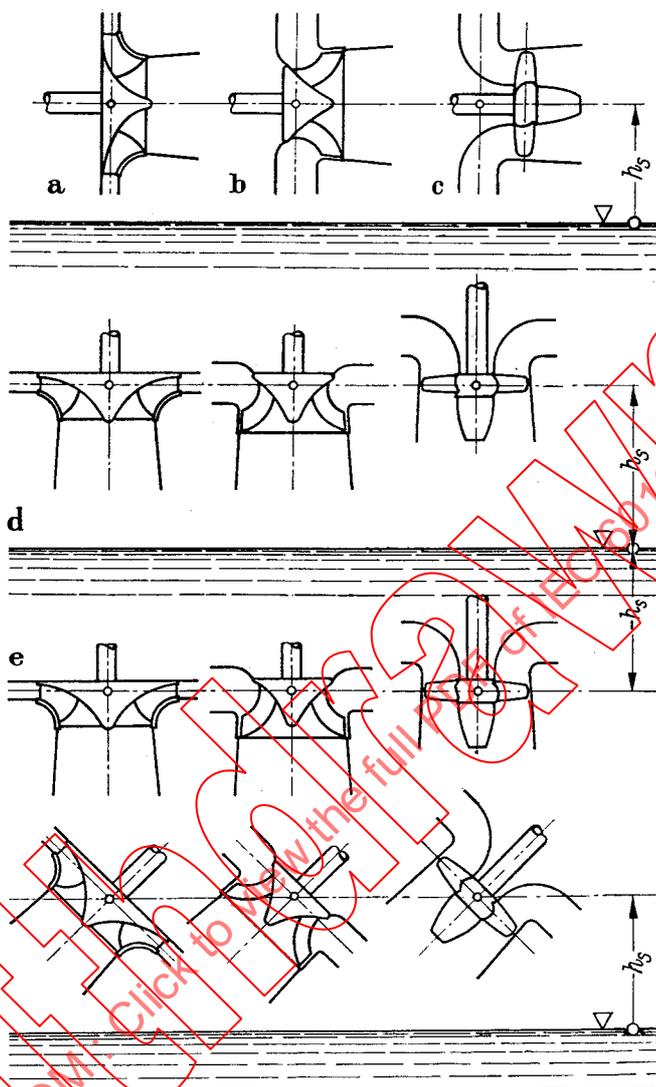


FIG. 5. — Définition de la hauteur géométrique d'aspiration h_s .

- a) Francis, vitesse spécifique basse
- b) Francis, vitesse spécifique élevée
- c) Kaplan, Hélice
- d) hauteur d'aspiration positive
- e) hauteur d'aspiration négative

 Niveau aval

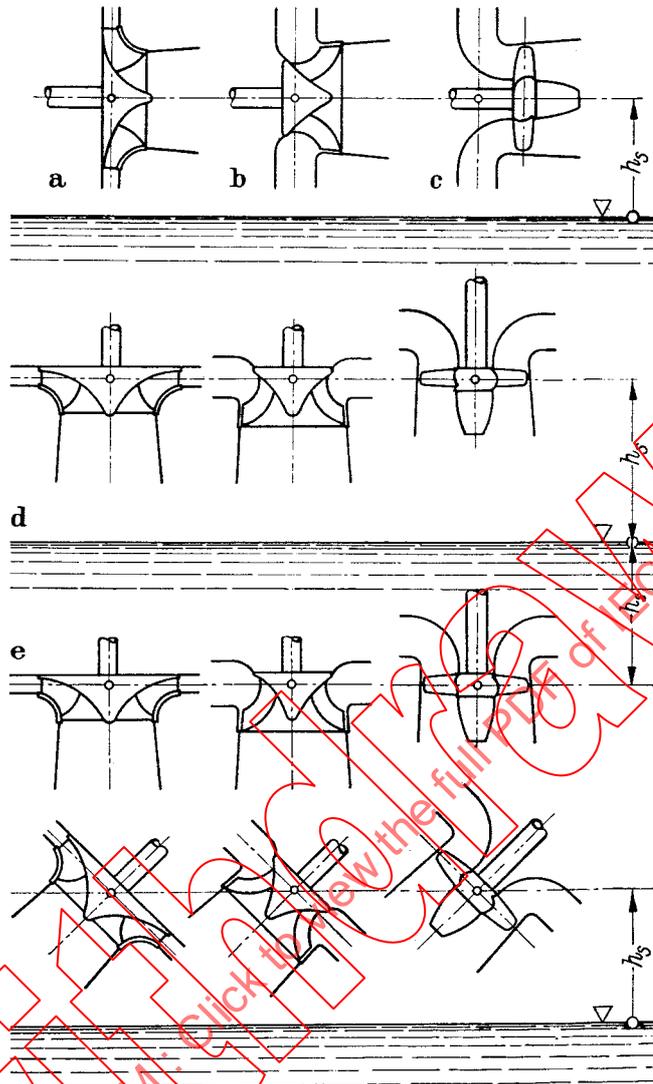


FIG. 5. — Definition of geodetic suction head h_s .

- a) Francis low specific speed
- b) Francis high specific speed
- c) Kaplan, Propeller
- d) positive suction head
- e) negative suction head

 Tailwater level

Termes		Définition	Symbole	Unité
2.7	<i>Puissance absorbée et fournie</i>	.		
2.7.1	Puissance absorbée par la turbine	Puissance hydraulique équivalente au débit Q de la turbine sous la chute nette H_n : $P_d = k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n$ $\left(k = \frac{1\ 000}{102} \right)$ (ou $k = \frac{1\ 356}{1\ 000}$ système pied livre seconde)	P_d	kW
2.7.2	Puissance fournie par la turbine	Puissance mécanique transmise par l'arbre de la turbine.	P_t	kW
2.7.3	Puissance garantie	Puissance pour laquelle la turbine est commandée sous la hauteur de chute garantie H_r et à la vitesse garantie n_r .	P_r	kW
2.8	<i>Rendement</i>			
2.8.1	Rendement de la turbine	Quotient de la puissance fournie par la puissance absorbée par la turbine.	η_t	%
2.8.2	Rendement moyen pondéré de la turbine	Rendement moyen pondéré calculé arithmétiquement à partir des valeurs isolées : $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ correspondant aux puissances ou aux débits garantis, avec les coefficients de pondération respectifs : w_1, w_2, w_3, \dots définis pour ces puissances ou débits au moyen de la relation : $\eta_{t_w} = \frac{w_1 \cdot \eta_1 + w_2 \cdot \eta_2 + w_3 \cdot \eta_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	η_{t_w}	%
2.8.3	Rendement moyen arithmétique	Rendement moyen pondéré défini sous 2.8.2 avec $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	η_{t_a}	%
2.8.4	Rendement moyen planimétré de la turbine	Ordonnée moyenne de la courbe de rendement dans les limites de l'intervalle couvert par la garantie.	$\eta_{t_{pl}}$	%
2.9	<i>Vitesse</i>	Nombre de tours par unité de temps.	n	tr/min
2.9.1	Vitesse garantie	Vitesse pour laquelle la turbine est commandée.	n_r	tr/min
2.9.2	Vitesse d'emballlement	Vitesse maximale atteinte quand toute charge est supprimée, c'est-à-dire, à couple nul sur la roue, et lorsque l'alimentation en eau n'est pas réduite, pour la position du distributeur et des pales, dans le cas des turbines Kaplan, qui donne la vitesse d'emballlement maximum.	n_R	tr/min
2.10.	<i>Cavitation</i>	Dans les essais sur modèle réduit la cavitation (formation de bulles de vapeur dues à la chute locale de la pression) peut être observée directement au moyen de dispositifs spéciaux.		

Term	Definition	Symbol	Units
2.7	<i>Input and output</i>		
2.7.1	Turbine input The hydraulic power equivalent of the turbine discharge Q at net head H_n : $P_d = k \cdot \gamma \cdot Q \cdot H_n$ $\left(k = \frac{1\,000}{102}\right)$ (or $k = \frac{1\,356}{1\,000}$ foot pound system)	P_d	kW
2.7.2	Turbine output The mechanical power delivered by the turbine shaft.	P_t	kW
2.7.3	Guaranteed output The turbine output at guaranteed net head H_r and guaranteed speed n_r for which the turbine is ordered.	P_r	kW
2.8	<i>Efficiency</i>		
2.8.1	Turbine efficiency Ratio of turbine output to turbine input.	η_{it}	%
2.8.2	Turbine weighted average efficiency The weighted average efficiency computed arithmetically from the single values: $\eta_{i1}, \eta_{i2}, \eta_{i3}, \dots$ at the guaranteed output or discharge values and at their respective weights: w_1, w_2, w_3, \dots agreed for these outputs or discharges by: $\eta_{tw} = \frac{w_1 \cdot \eta_{i1} + w_2 \cdot \eta_{i2} + w_3 \cdot \eta_{i3} + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	η_{tw}	%
2.8.3	Turbine arithmetical average efficiency Weighted average efficiency as defined in 2.8.2 with $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	η_{ta}	%
2.8.4	Turbine planimetric average efficiency The mean height of the efficiency curve within the guaranteed range.	η_{tpl}	%
2.9	<i>Speed</i>		
2.9.1	Guaranteed speed The speed for which the turbine is ordered.	n_r	rev/min
2.9.2	Runaway speed The maximum speed attained when all load is removed, that is at zero torque on the runner, and when the supply of water is unchecked in such a position of guide vanes (and runner blades of Kaplan turbines) which gives maximum runaway speed.	n_R	rev/min
2.10.	<i>Cavitation</i> In model testing cavitation (the formation of vapour bubbles due to low local pressure) may be directly viewed through suitable observation ports.		

3. Clarifications

Tout terme, définition ou unité de mesure qui ferait l'objet de contestation devra être précisé par écrit d'un commun accord entre les parties contractantes avant les essais.

TABLEAU I

Variation de γ , poids spécifique de l'eau *, avec la latitude, la température et l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer

Latitude	Poids spécifique γ de l'eau en kp/dm ³ Température de l'eau en °C					
	0	4	10	20	30	40
<i>Niveau de la mer</i>						
0	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
10	0,996	0,996	0,996	0,995	0,992	0,989
20	0,997	0,997	0,996	0,995	0,992	0,989
30	0,997	0,997	0,997	0,996	0,993	0,990
40	0,998	0,998	0,998	0,997	0,994	0,990
45 approx.	0,999	0,999	0,998	0,997	0,994	0,991
50	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991
60	1,000	1,000	1,000	0,998	0,995	0,992
70	1,001	1,001	1,000	0,999	0,996	0,993
<i>A 1 000 m</i>						
0	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
10	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
20	0,996	0,997	0,996	0,995	0,992	0,989
30	0,997	0,997	0,997	0,995	0,993	0,989
40	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,990
45 approx.	0,998	0,999	0,998	0,997	0,994	0,991
50	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991
60	1,000	1,000	1,000	0,998	0,996	0,992
70	1,000	1,000	1,000	0,999	0,996	0,993
<i>A 2 000 m</i>						
0	0,996	0,996	0,995	0,994	0,991	0,988
10	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
20	0,996	0,996	0,996	0,995	0,992	0,989
30	0,997	0,997	0,997	0,995	0,993	0,989
40	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,990
45 approx.	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,991
50	0,999	0,999	0,999	0,997	0,994	0,991
60	1,000	1,000	1,000	0,998	0,995	0,992
70	1,000	1,000	1,000	0,999	0,996	0,993
<i>A 4 000 m</i>						
0	0,995	0,995	0,995	0,993	0,991	0,988
10	0,995	0,995	0,995	0,994	0,991	0,988
20	0,996	0,996	0,996	0,994	0,992	0,988
30	0,996	0,997	0,996	0,995	0,992	0,989
40	0,997	0,997	0,997	0,996	0,993	0,989
45 approx.	0,998	0,998	0,998	0,996	0,994	0,990
50	0,998	0,998	0,998	0,997	0,994	0,990
60	0,999	0,999	0,999	0,997	0,995	0,991
70	1,000	1,000	1,000	0,998	0,996	0,992

* Eau distillée pure, valeurs corrigées pour tenir compte de la poussée de l'air, celle-ci résultant de l'Atmosphère Normale Internationale. Cette correction est valable pour de l'air sec, mais l'humidité ne modifie pas les valeurs ci-dessus de plus de $\pm 0,1\%$.

3. Clarifications

Clarification of any term, definition or unit of measurement in dispute shall be agreed to in writing by the contracting parties in advance of the test.

TABLE I

Variation of γ , the specific weight of water *, with latitude, temperature and height above mean sea level

Latitude	Specific weight of water γ in kp/dm^3 Water temperature in $^{\circ}\text{C}$					
	0	4	10	20	30	40
<i>At sea level</i>						
0	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
10	0.996	0.996	0.996	0.995	0.992	0.989
20	0.997	0.997	0.996	0.995	0.992	0.989
30	0.997	0.997	0.997	0.996	0.993	0.990
40	0.998	0.998	0.998	0.997	0.994	0.990
45 approx.	0.999	0.999	0.998	0.997	0.994	0.991
50	0.999	0.999	0.999	0.997	0.995	0.991
60	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995	0.992
70	1.001	1.001	1.000	0.999	0.996	0.993
<i>At 1 000 m</i>						
0	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
10	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
20	0.996	0.997	0.996	0.995	0.992	0.989
30	0.997	0.997	0.997	0.995	0.993	0.989
40	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.990
45 approx.	0.998	0.999	0.998	0.997	0.994	0.991
50	0.999	0.999	0.999	0.997	0.995	0.991
60	1.000	1.000	1.000	0.998	0.996	0.992
70	1.000	1.000	1.000	0.999	0.996	0.993
<i>At 2 000 m</i>						
0	0.996	0.996	0.995	0.994	0.991	0.988
10	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
20	0.996	0.996	0.996	0.995	0.992	0.989
30	0.997	0.997	0.997	0.995	0.993	0.989
40	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.990
45 approx.	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.991
50	0.999	0.999	0.999	0.997	0.994	0.991
60	1.000	1.000	1.000	0.998	0.995	0.992
70	1.000	1.000	1.000	0.999	0.996	0.993
<i>At 4 000 m</i>						
0	0.995	0.995	0.995	0.993	0.991	0.988
10	0.995	0.995	0.995	0.994	0.991	0.988
20	0.996	0.996	0.996	0.994	0.992	0.988
30	0.996	0.997	0.996	0.995	0.992	0.989
40	0.997	0.997	0.997	0.996	0.993	0.989
45 approx.	0.998	0.998	0.998	0.996	0.994	0.990
50	0.998	0.998	0.998	0.997	0.994	0.990
60	0.999	0.999	0.999	0.997	0.995	0.991
70	1.000	1.000	1.000	0.998	0.996	0.992

* Pure distilled water values corrected for buoyancy of air corresponding to International Standard Atmosphere (I.C.A.N.). This is for dry air, but corrections for humidity are not likely to alter the above values by more than $\pm 0.1\%$.

TABEAU II

Variation de l'accélération de la pesanteur « g » avec la latitude terrestre et l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer

Latitude	Altitude en mètres au-dessus du niveau moyen de la mer			
	0	1 000	2 000	4 000
Degrés	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²
0°	9,780 36	9,777 27	9,774 18	9,768 01
10°	9,781 91	9,778 82	9,775 74	9,769 57
20°	9,786 38	9,783 30	9,780 21	9,774 04
30°	9,793 24	9,790 16	9,787 07	9,780 90
40°	9,801 67	9,798 50	9,795 50	9,789 33
50°	9,810 65	9,807 57	9,804 48	9,798 31
60°	9,819 11	9,816 02	9,812 93	9,806 76
70°	9,826 01	9,822 92	9,819 83	9,813 66

La valeur internationale de « g » adoptée par la Commission Internationale des Poids et Mesures est 9,806 65 m/s², correspondant approximativement à la latitude de 45° et au niveau de la mer.

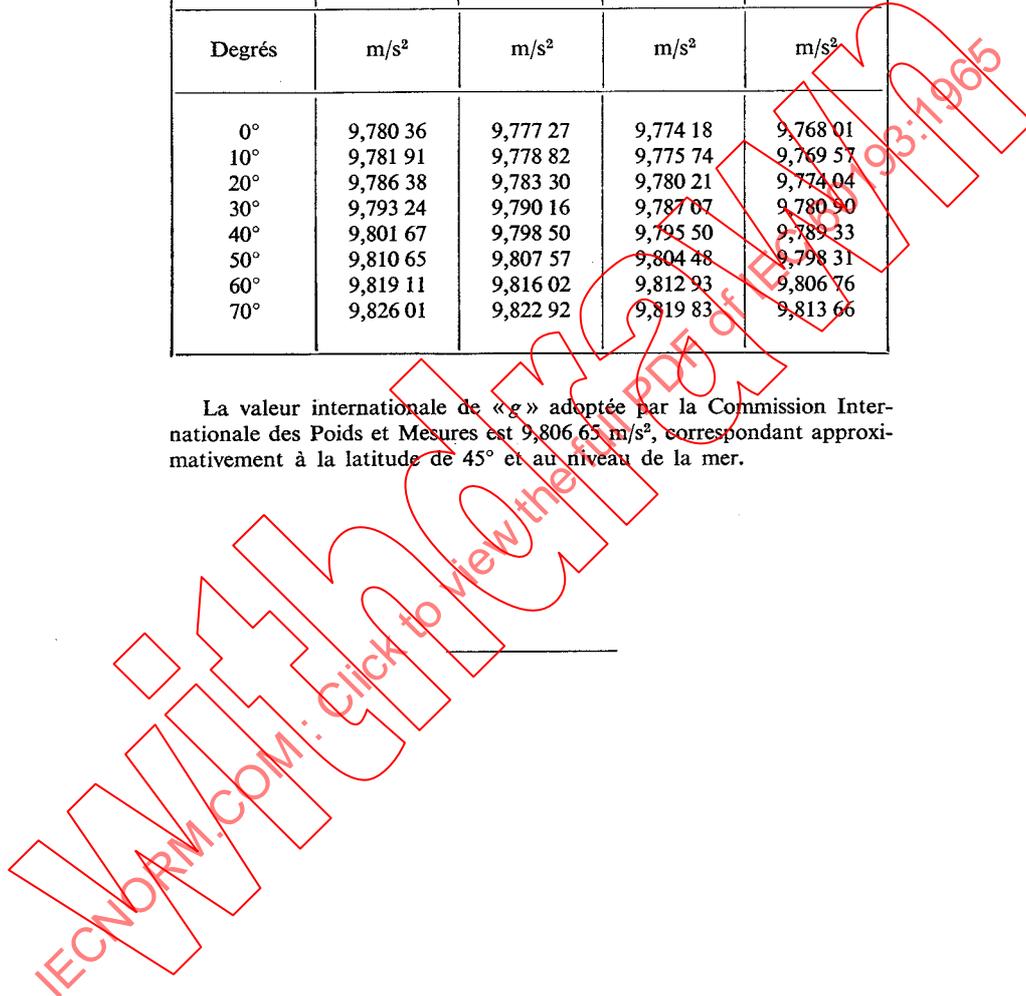
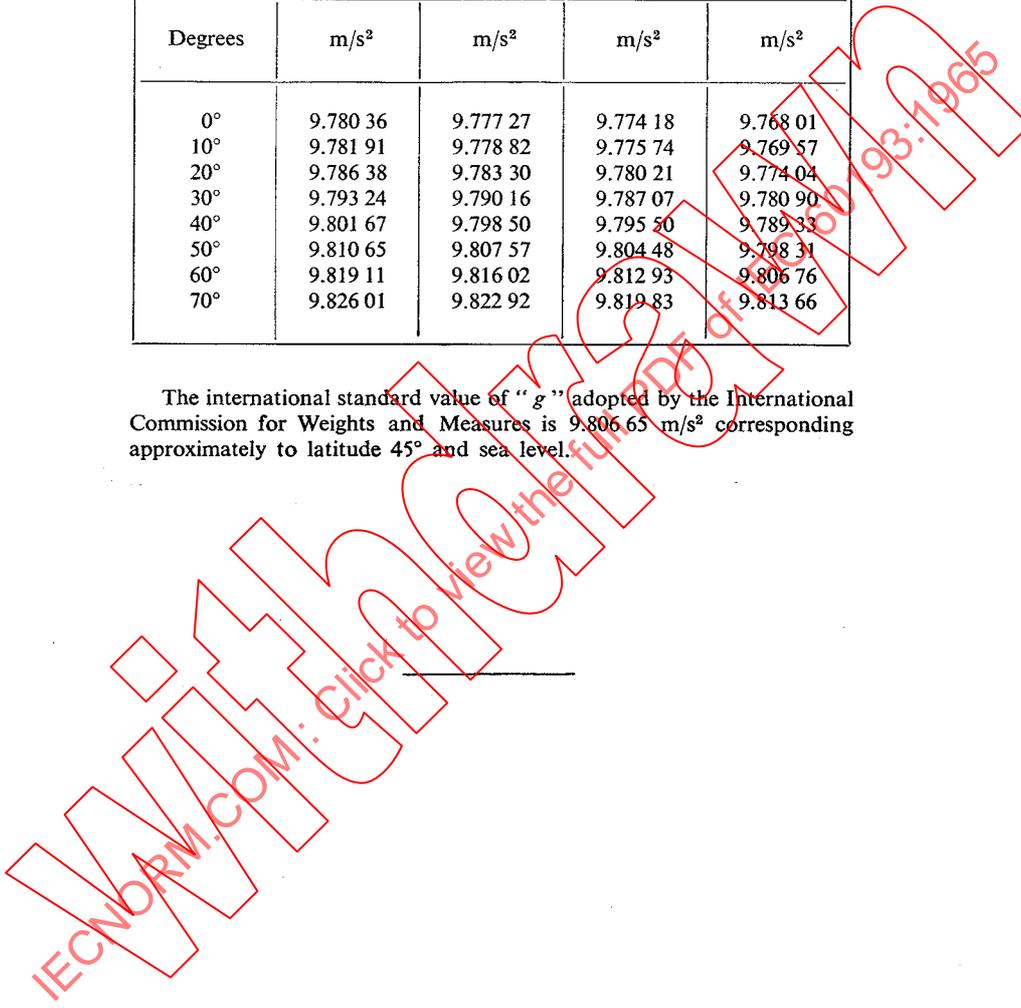


TABLE II

Variation of the acceleration due to gravity “g” with Earth’s latitude and height above mean sea level

Latitude	Height in metres above mean sea level			
	0	1 000	2 000	4 000
Degrees	m/s ²	m/s ²	m/s ²	m/s ²
0°	9.780 36	9.777 27	9.774 18	9.768 01
10°	9.781 91	9.778 82	9.775 74	9.769 57
20°	9.786 38	9.783 30	9.780 21	9.774 04
30°	9.793 24	9.790 16	9.787 07	9.780 90
40°	9.801 67	9.798 50	9.795 50	9.789 33
50°	9.810 65	9.807 57	9.804 48	9.798 31
60°	9.819 11	9.816 02	9.812 93	9.806 76
70°	9.826 01	9.822 92	9.819 83	9.813 66

The international standard value of “g” adopted by the International Commission for Weights and Measures is 9.806 65 m/s² corresponding approximately to latitude 45° and sea level.



CHAPITRE III — NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES TECHNIQUES

1. Généralités

Un contrat contient les garanties principales de puissance et de rendement d'une turbine et quelquefois des garanties complémentaires concernant la vitesse d'emballlement et l'influence de la cavitation. Les garanties relatives aux variations de vitesse aussi bien qu'aux vibrations et à l'érosion de cavitation, ne sont pas normalement contrôlées sur modèle réduit.

Le client fournira les caractéristiques complètes exactes et correctes du conduit hydraulique depuis l'entrée jusqu'à la sortie de la turbine, y compris tous les éléments de construction susceptibles d'avoir une influence hydraulique sur les conditions de fonctionnement de la turbine. L'étendue du modèle réduit de la turbine doit être précisée et les sections de mesure à l'entrée et à la sortie doivent être clairement définies.

2. Garanties principales

Lorsque la réception de la turbine est prononcée d'après les essais sur modèle, les méthodes suivantes de garantie pour les turbines prototypes sont possibles :

1. Garanties basées sur les résultats d'essais sur modèle
2. Garanties basées sur les résultats d'essais sur modèle en tenant compte d'un effet d'échelle.

2.1 Puissance maximale

Les garanties de puissance maximale pour la turbine peuvent être faites, soit sur la base des essais sur modèle, l'effet d'échelle étant pris en compte ou non, soit directement au moyen de mesures sur place, de la puissance sous la chute garantie. Dans ce dernier cas, le chapitre relatif aux mesures de puissance dans le code d'essais de réception sur place des turbines hydrauliques s'appliquera.

2.2 Rendement

- 2.2.1 Ce code d'essais s'applique au cas où les garanties de rendement sont basées sur un essai sur modèle l'effet d'échelle étant pris en compte ou non. Il doit être clairement déclaré si les garanties sont données pour les rendements en présence de cavitation ou sans cavitation.
- 2.2.2 Les garanties de rendement peuvent être basées sur les résultats d'essais sur modèle corrigés pour tenir compte de l'effet d'échelle par une formule convenable. La formule doit être choisie d'un commun accord au moment où les appels d'offres sont envoyés. Si aucune formule n'est choisie ou spécifiée à l'avance, les formules d'effet d'échelle suivantes, seront utilisées :

Turbines hélices et Kaplan : Formule de Hutton

$$\frac{\text{perte prototype}}{\text{perte modèle}} = 0,3 + 0,7 \left(\frac{Re_m}{Re_p} \right)^{1/5}$$

$$\text{avec } Re = \text{nombre de Reynolds de la turbine } Re = \frac{D}{\nu} \sqrt{2g \cdot H_n}$$

L'indice p caractérise le prototype

L'indice m caractérise le modèle

H_n = chute nette (m ou ft)

D = diamètre de la roue (m ou ft)

ν = viscosité cinématique du fluide en mètres carrés par seconde (ft²/sec).

CHAPTER III — NATURE AND EXTENT OF TECHNICAL GUARANTEES

1. General

A contract contains main guarantees for output and efficiency of a turbine and sometimes additional guarantees covering runaway speed and cavitation influence. Guarantees for speed variation, as well as vibration and cavitation erosion, are not normally checked by model tests.

The purchaser shall provide true, full and acceptable data respecting the waterways from intake to the tailrace, including all elements of the construction which are liable to influence hydraulic conditions of the turbine in operation. The extent of the water passages connected to the model turbine shall be stated and the inlet and outlet measuring sections clearly defined.

2. Main guarantees

When turbine acceptance is determined by model testing, the following methods of guarantee for prototype turbines are possible:

1. Guarantees based on model test results
2. Guarantees based on model test results with allowance for scale effect.

2.1 Maximum output

Guarantees of maximum output for the turbine may be made on the basis either of model tests with or without allowance for scale effects, or directly by means of field measurement of output under the guarantee head. In the latter case the chapter governing output measurements in the field test code of hydraulic turbines shall apply.

2.2 Efficiency

- 2.2.1 This test code applies to those cases where guarantees of efficiency are based upon a model test with or without allowance for scale effects. It shall be clearly stated whether guarantees are given for efficiencies under cavitating or non-cavitating conditions.
- 2.2.2 Efficiency guarantees may be based upon the model test results corrected for scale effect by a suitable formula. The formula should be agreed upon at the time the invitations for bids are issued. If no formula is agreed upon or specified in advance, the following scale-effect formula will be used:

Propeller and Kaplan turbines : Hutton formula

$$\frac{\text{prototype loss}}{\text{model loss}} = 0.3 + 0.7 \left(\frac{Re_m}{Re_p} \right)^{1/5}$$

$$\text{Where } Re = \text{turbine Reynolds' number } Re = \frac{D}{\nu} \sqrt{2g \cdot H_n}$$

Subscript p denotes prototype

Subscript m denotes model

H_n = head — m or ft

D = runner diameter — m or ft

ν = kinematic viscosity of fluid in square metres per second (ft²/sec).

Turbines Francis : Formule de Moody

$$\frac{\text{perte prototype}}{\text{perte modèle}} = \left(\frac{D_m}{D_p} \right)^{1/5}$$

Turbines Pelton : pas de formule d'effet d'échelle : $\eta_p = \eta_m$.

3. Came des turbines Kaplan

En vue de déterminer correctement la came de conjugaison de la turbine Kaplan prototype, il est nécessaire de compléter les essais sur modèle par un essai sur place spécial. Celui-ci peut être par exemple un essai relatif où on mesurera la hauteur, la vitesse, la puissance, l'ouverture du distributeur et l'inclinaison des pales ainsi qu'une valeur relative du débit.

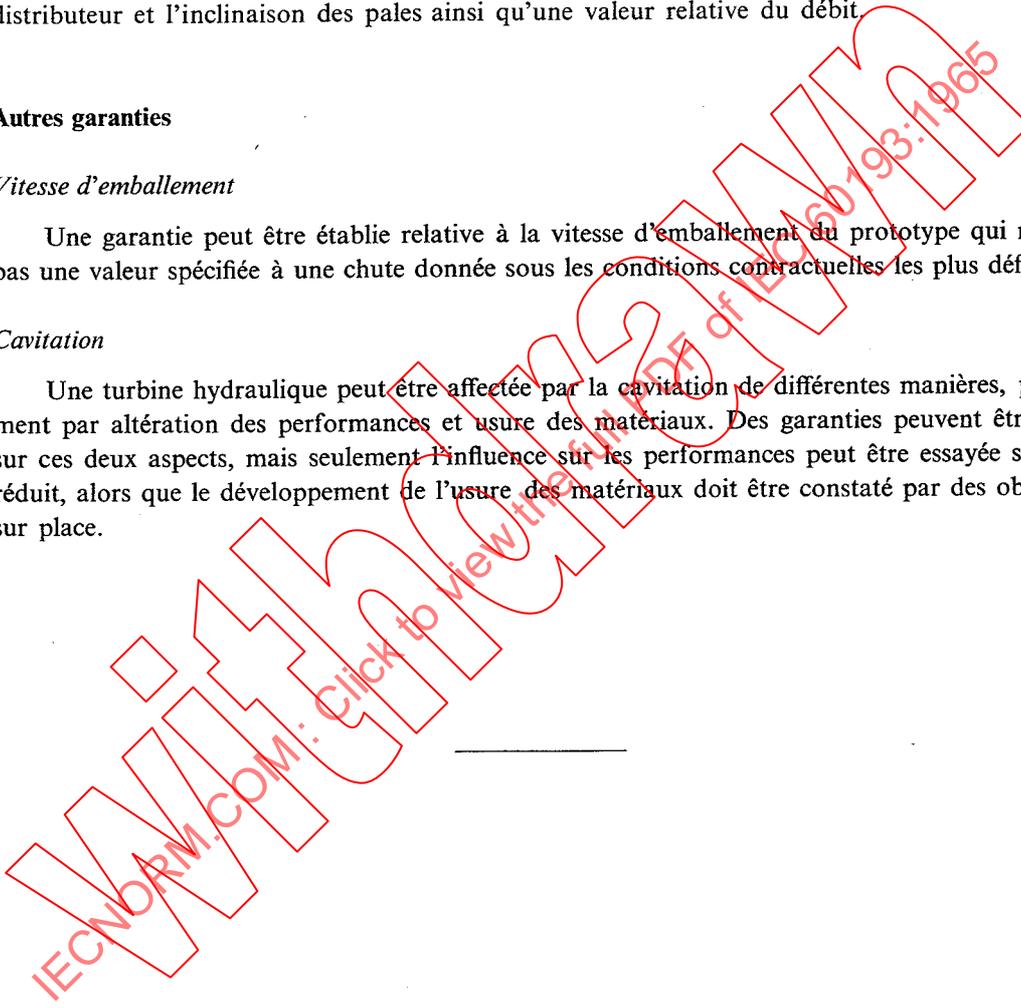
4. Autres garanties

4.1 Vitesse d'emballlement

Une garantie peut être établie relative à la vitesse d'emballlement du prototype qui n'excédera pas une valeur spécifiée à une chute donnée sous les conditions contractuelles les plus défavorables.

4.2 Cavitation

Une turbine hydraulique peut être affectée par la cavitation de différentes manières, principalement par altération des performances et usure des matériaux. Des garanties peuvent être données sur ces deux aspects, mais seulement l'influence sur les performances peut être essayée sur modèle réduit, alors que le développement de l'usure des matériaux doit être constaté par des observations sur place.



Francis turbines : Moody Formula

$$\frac{\text{prototype loss}}{\text{model loss}} = \left(\frac{D_m}{D_p} \right)^{1/5}$$

Impulse turbines : no scale effect formula $\eta_p = \eta_m$.

3. Cam relationship of Kaplan turbines

In order to find the correct relationship for the combination cam of prototype Kaplan turbines, it is necessary to supplement the model tests by means of a special test in the plant. This may be, for instance, an index test where head, speed, power, gate opening blades angle and an index of discharge are measured.

4. Other guarantees

4.1 Runaway speed

A guarantee may be made that the runaway speed of the prototype at a stated head will not exceed a specified value under the worst possible contractual operating conditions.

4.2 Cavitation

A hydraulic turbine may be affected by cavitation in different ways, but mainly alteration of performance characteristics and pitting of material. Guarantees may be given in both respects, but only the influence on performance can be checked by model tests, whilst the pitting development must be stated by observations at site.

Watermark: IECNORM.COM: Click to view the full PDF at IEC60193:1965

CHAPITRE IV — CONDITIONS A REMPLIR POUR LES ESSAIS

1. Installations d'essais

Les installations d'essais convenant à la réalisation d'essais de réception sur modèles, doivent satisfaire aux conditions suivantes :

1.1 Caractéristiques de l'eau

L'eau doit être propre et claire et ne doit pas contenir de particules solides. Les particules de gaz libre ou les bulles d'air doivent être enlevées autant que possible. La teneur en air ou en gaz et la température de l'eau doivent être mesurées. Pendant chaque essai les variations de teneur en air et de température doivent être aussi petites que possible. La température la plus élevée ne doit pas dépasser 35 °C.

1.2 Conditions d'alimentation

1.2.1 Entrée du modèle

L'écoulement à l'entrée du modèle ne doit pas contenir de vortex. En l'absence d'aucun accord contraire, les essais seront conduits avec une répartition uniforme des vitesses de l'eau à l'amont du modèle de turbine.

1.2.2 Sortie du modèle

L'écoulement de l'eau à la sortie de l'aspirateur du modèle réduit ne doit pas être perturbé artificiellement.

1.3 Fluctuation pendant chacun des essais

Toute fluctuation dans la hauteur de chute et dans la vitesse pendant un essai à ouverture fixe ne doit respectivement pas dépasser $\pm 0,5\%$ de la chute d'essai sur modèle et $\pm 0,25\%$ de la vitesse

1.4 Mesure du débit

La mesure du débit est faite en utilisant l'une des méthodes énumérées dans le chapitre VIII. Il est préférable d'étalonner l'équipement de mesure de débit en place dans les conditions régnant pendant l'essai. On doit s'assurer en particulier que les pressions absolues sont identiques pendant l'essai et pendant l'étalonnage pour éviter les erreurs de mesure de débit dues aux bulles d'air. Il est souhaitable de disposer d'une autre méthode de mesure de façon à pouvoir vérifier, à l'occasion, le fonctionnement satisfaisant de l'équipement de mesure de débit.

1.5 Pertes d'eau

Toute altération dans le débit entre la section de mesure et la turbine modèle par piquage ou apport d'eau aussi bien que tout apport d'air doivent être évités. Si le débit d'eau à travers le presse-étoupe est appréciable dans un sens ou dans l'autre, il doit en être tenu compte.

1.6 Chutes

1.6.1 Chutes et limites

La chute d'essais sur modèle peut être choisie entre de larges limites du fait que l'influence de la chute sur les résultats d'essais est négligeable. Il est seulement nécessaire que le nombre de Reynolds soit suffisamment élevé. Pour les hauteurs de chute minimales, voir paragraphe IV.2.1.

CHAPTER IV — TEST CONDITIONS TO BE FULFILLED

1. Test plant

Test plants for conducting model acceptance tests must meet the following requirements :

1.1 Condition of water

The water shall be clean and clear and shall not contain solid ingredients. Free gas particles or air bubbles shall be removed as far as possible. The total air or gas content and the temperature of the water shall be measured. During each test run the change in gas content and in temperature shall be as small as possible. The highest temperature may not be more than 35 °C.

1.2 Flow conditions

1.2.1 Model inlet

The flow at the inlet of the model shall be free from vortices. In the absence of any agreement to the contrary, the tests will be carried out with a uniform distribution of water velocity upstream of the model turbine.

1.2.2 Model outlet

The discharge from the draft tube of the model turbine may not be artificially disturbed.

1.3 Fluctuations during individual test runs

Any fluctuation in head and in speed during an individual run with fixed opening should not exceed $\pm 0.5\%$ of the model test head and $\pm 0.25\%$ of the speed respectively.

1.4 Measurement of the water discharge

The water discharge is measured using one of the methods listed under Chapter VIII. It is preferable to calibrate the measuring equipment *in situ* under the prevailing test conditions. In particular the absolute pressures shall be identical under test and calibration conditions to avoid errors in the measurement of the water discharge caused by air bubbles. It is desirable to have another measuring method in order to check occasionally on the satisfactory operation of the water measuring equipment.

1.5 Water losses

Any change in the water discharge between the measuring section and the model turbine by reducing or adding to the water flow as well as any adding of air must be avoided. If the water inflow or outflow through the shaft gland is appreciable it must be corrected for.

1.6 Heads

1.6.1 Heads and limits

The model test head can be chosen within wide limits because the influence of head on the test results is negligible. It is only necessary for the Reynolds number to be high enough. For minimum head limits, see Sub-clause IV.2.1.

1.6.2 Hauteur d'aspiration et contre pression

Bien qu'il soit désirable d'établir le rendement de la turbine modèle dans des conditions de cavitation semblables à celles du prototype, il est plus facile, pour des raisons pratiques, de mesurer d'abord le rendement dans des conditions de non cavitation. Par la suite, des essais de cavitation suffisants peuvent être effectués pour établir l'influence du paramètre de cavitation sur les performances. Les hauteurs d'aspiration dans de tels essais doivent être réglées pour couvrir les conditions spécifiées au contrat.

1.7 Couple

1.7.1 Vérification du zéro et étalonnage

Avec chacune des méthodes de mesure choisie suivant l'article X.2 pour la mesure du couple, il doit être possible de vérifier le zéro et de faire un étalonnage dans la gamme de mesures complète.

1.7.2 Couple de frottement du palier

Le couple effectif du modèle comprend également le couple de frottement de palier. Ce frottement de palier doit, par conséquent, être mesuré avec le couple de freinage ou séparément. (Voir article X.2.)

1.8 Vitesse

La vitesse doit être déterminée par un compteur mécanique ou électrique. En plus, un instrument de mesure direct peut être utilisé pour vérifier la constance de la vitesse.

2. Similitude du modèle

La turbine modèle doit respecter les conditions suivantes :

2.1 Echelle du modèle et dimensions minimales

Des dimensions minimales sont prescrites pour le diamètre de la roue du modèle réduit et pour l'échelle du modèle, de manière à assurer une précision suffisante dans l'exécution et dans les qualités des surfaces, de manière à réduire la valeur absolue de l'effet d'échelle et à obtenir un nombre de Reynolds raisonnable. Les conditions à remplir sont les suivantes :

Type	Kaplan Hélice	Francis	Pelton
Re_{\min}	$2 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^6$	$3.5 \cdot 10^6$
	avec $Re = D_s \frac{\sqrt{2g \cdot H}}{\nu}$		$\frac{B \sqrt{2g \cdot H}}{\nu}$
$D_s \min$ (aspirateur)	250 mm (10 in)	250 mm (10 in)	B_{\min} 80 mm (3 in) (largeur d'auget)
H_{\min} (chute d'essai)	1 m (3,5 ft)	2 m (7 ft)	40 m (130 ft)

1.6.2 *Suction head and counter-pressure*

Although it is desirable to establish the efficiency of model turbines under cavitating conditions similar to the prototype, for practical reasons, it is more convenient to measure first efficiency under non-cavitating conditions. Subsequently, sufficient cavitation tests may be made to establish the influence of the cavitation parameter on performance. The suction heads in such tests should be adjusted to cover the conditions specified in the contract.

1.7 *Torque*

1.7.1 *Checking of Zero point and calibration*

With any of the measuring methods selected according to Clause X.2 for the measurement of the torque, it must be possible to check on the Zero point and to make a calibration in the entire measuring range.

1.7.2 *Moment of bearing friction*

The effective moment of the model turbine also includes the moment of bearing friction. This bearing friction must, therefore, be measured either together with the braking moment proper or separately (See Clause X.2).

1.8 *Speed*

The speed must be determined by a mechanical or an electrical counting mechanism. Additionally a direct-reading instrument may be used to check on the constancy of the speed.

2. **Model similitude**

The model turbine must meet the following conditions :

2.1 *Model scale and minimum size*

Minimum values are prescribed for the model runner diameters and for the model scale to ensure the required accuracy in manufacture and surface quality, in order to reduce the absolute value of the scale effect and to have a reasonable Reynolds' number. The requirements are as follows :

Type	Kaplan Propeller	Francis	Impulse
Re_{min}	$2 \cdot 10^6$	$2.5 \cdot 10^6$	$3.5 \cdot 10^6$
	Where $R_e = D_s \frac{\sqrt{2g \cdot H}}{\nu}$		$\frac{B \sqrt{2g \cdot H}}{\nu}$
$D_{s \min}$ (draft tube)	250 mm (10 in)	250 mm (10 in)	B_{min} 80 mm (3 in) (bucket width)
H_{min} (testing head)	1 m (3.5 ft)	2 m (7 ft)	40 m (130 ft)

2.2 Similitude

2.2.1 Similitude géométrique entre le modèle et le prototype

S'il n'existe pas d'accord précisant le contraire, le modèle de la turbine, depuis l'entrée jusqu'à la sortie, doit être géométriquement semblable au prototype dans toutes les parties jouant un rôle hydraulique. Une turbine modèle réduit pour essais de réception doit comprendre la turbine elle-même, l'aspirateur et la bêche spirale dont les limites amont doivent normalement être à une distance de l'axe de la roue supérieure à deux fois le diamètre de la roue de la turbine.

Les canalisations coudées, les embranchements, les vannes ou robinets ou les surfaces libres amont, doivent être comprises dans la représentation si elles sont susceptibles d'affecter les caractéristiques.

La similitude géométrique n'est pas impérative seulement en ce qui concerne les étanchéités sur l'arbre. Par exemple, sur le modèle, un jeu sans aucun contact physique sera préférable, même si, sur le prototype, sont utilisés des presse-étoupe donnant naissance à un frottement.

2.2.2 Conditions de surface

Les surfaces jouant un rôle hydraulique effectif sur le modèle réduit de la turbine doivent être telles qu'on puisse considérer qu'elles ont la même rugosité relative que celles du prototype.

2.3 Vérification de la similitude géométrique entre le modèle et le prototype

Une vérification de la similitude géométrique entre le modèle et le prototype est une condition sine qua non des essais de réception sur modèle. Au moins les parties suivantes doivent être vérifiées :

- les dimensions principales de l'entrée et de la sortie de la bêche spirale, du distributeur, de la roue et de l'aspirateur; pour les turbines Pelton, les dimensions principales des augets et de la capote;
- le nombre d'avant-directrices, de pales de la roue, de directrices; le nombre de jets et d'augets d'une turbine Pelton;
- la valeur des jeux de la roue et du distributeur;
- la forme des pales de la roue, des directrices et des avant-directrices; pour les turbines Pelton la forme des augets, des injecteurs et des pointeaux.

Pour la vérification de la similitude géométrique du modèle et du prototype, il est recommandé :

Pour les turbines Francis :

- d'utiliser 2 gabarits pour la forme du profil d'entrée des aubes;
- d'utiliser 1 gabarit pour la vérification de l'inclinaison des aubes à l'entrée de la roue dans la section moyenne;
- de vérifier la largeur moyenne et la section de passage de l'eau à la sortie de la roue.

Pour les turbines hélices et Kaplan :

- d'utiliser 2 gabarits pour la forme du profil d'entrée des pales;
- d'utiliser 2 gabarits sur la face d'aspiration de la pale pour une section interne et pour une section externe;
- de vérifier l'épaisseur de la pale dans les sections contrôlées en au moins 3 points.

2.2 Similarity

2.2.1 Geometric similarity of model and prototype

If there is no other agreement to the contrary, the model turbine from the inlet up to the outlet must, in hydraulically effective parts, be geometrically similar to the prototype. A model turbine for acceptance tests is to include the turbine itself, the draft tube and turbine casing, the upstream limits of which normally should exceed twice the discharge diameter of the turbine runner upstream from the centre line of the runner.

Elbows, y-pipes, gates or valves or free surface upstream from the inlet should be included if they are likely to affect performance.

Only with respect to the sealing of the shaft is geometric similarity not imperative, e.g. in the model, clearances without any physical contact will be preferred, even if stuffing boxes giving rise to friction are used on the prototype.

2.2.2 Surface conditions

The hydraulically effective surfaces of the model turbine shall have the same relative roughness as those of the prototype.

2.3 Checking the geometric similarity of model and prototype

A check on the geometric similarity of model turbine and prototype is a basic requirement for acceptance tests on the model. At least the following parts must be checked :

- the principal dimensions of inlet and outlet of the spiral casing, of the distributor, of the runner and of the draft tube; for impulse turbines the principal dimensions of the runner buckets and of the housing;
- the number of stay vanes, runner blades and guide vanes; nozzles and buckets of an impulse turbine;
- the width of the runner and guide vane clearances;
- the form of the runner blades and of the guide and stay vanes; for impulse turbines the form of the buckets, of the nozzles and of the needles.

For checking the geometrical similarity of the model and of the prototype it is recommended :

With Francis turbines :

- to use 2 templates for the forms of the inlet profile of the blades;
- to use 1 template for checking the blade inclination at the runner inlet in the middle section;
- to check the mean clear width and area of the water passages at the runner outlet.

With propeller and Kaplan turbines :

- to use 2 templates for the form of the inlet profile of the blades;
- to use 2 templates for the blade suction side for an inner and an outer section;
- to check on the blade thickness of the selected blade sections on at least 3 points.

Pour les turbines Pelton :

- d'utiliser 2 gabarits pour 2 sections de l'auget;
- de déterminer l'inclinaison de l'auget par rapport à la direction radiale;
- d'utiliser 1 gabarit pour la forme des injecteurs et des pointeaux.

2.4 *Écarts tolérables de similitude géométrique du prototype par rapport au modèle*

Quand les écarts entre le prototype et le modèle sont comparés, on doit considérer que les inexactitudes de construction en pour-cent du modèle et du prototype s'ajoutent. De ce fait, à moins d'un accord stipulant le contraire, les écarts suivants seront par conséquent regardés comme tolérables :

(Les pourcentages donnés ci-dessous sont les pourcentages pris par rapport aux dimensions du modèle élevées à l'échelle du prototype.)

Principales dimensions du conduit hydraulique :

- Parties non usinées (tôle ou béton) ± 2 %
- Parties usinées ± 0,2 %
- Jeu de ceinture, semblable géométriquement ou moitié de celui du modèle + 0 %
— 50 %

Pour les turbines Francis :

- Gabarit vérifiant le rayon de courbure à l'entrée des pales. Ecart exprimé en pour-cent du rayon ± 5 %
- Gabarit pour l'inclinaison des aubes ± 2°
- Largeur moyenne à la sortie prise comme une moyenne autour de la roue pour chacun d'au moins 3 points de mesure + 3 %
— 1 %
- Ecart de chacune des largeurs de sortie de la valeur moyenne ± 10 %
- Épaisseur maximum des aubes + 3 %
— 10 %

Pour les turbines hélices et Kaplan :

- Gabarits vérifiant les rayons de courbure à l'entrée des pales. Ecart exprimé en pour-cent du rayon ± 5 %
- Gabarits pour la section en travers des pales. Ecart rapporté au diamètre maximum de la roue ± 0,1 %
- Inclinaison des sections internes et externes ± 0,5°
- Épaisseur locale des pales + 0,08e + 2 mm
(e épaisseur locale des pales en mm)
— 0,04e — 2 mm

Pour les turbines Pelton :

- Gabarits vérifiant la forme de l'auget. Ecart rapporté à la largeur de l'auget ± 1 %
- Inclinaison de l'auget ± 1°

With impulse turbines :

- to use 2 templates for 2 sections of the bucket;
- to determine the bucket inclination with respect to the radial direction;
- to use 1 template for the form of the needle and the nozzles.

2.4 Permissible deviations in geometric similarity between prototype and model

When the deviations between the prototype and the model are compared, it must be considered that the manufacturing inaccuracies in percent of model and prototype add. In view of this, if there is no agreement to the contrary, the following deviations will be regarded as permissible :

(The percentages given below are percentages of the scaled-up model dimensions.)

Principal dimensions of hydraulic passages :

- Unmachined parts (both metallic and concrete) $\pm 2 \%$
- Machined parts $\pm 0.2 \%$
- Runner seal clearance, geometrically similar or half model scale $+ 0 \%$
 $- 50 \%$

With Francis turbines :

- The templates checking the radius of curvature at the inlet of the blades expressed in percent of the radius $\pm 5 \%$
- The template for the vane inclination $\pm 2^\circ$
- The mean clear outlet width taken as an average around the runner for each one of at least three measuring points $+ 3 \%$
 $- 1 \%$
- Deviations of each individual outlet width from the mean value $\pm 10 \%$
- Maximum thickness of blade $+ 3 \%$
 $- 10 \%$

With propeller and Kaplan turbines :

- The templates checking the radius of curvature at the inlet of the blades expressed in percent of the radius $\pm 5 \%$
- The templates for the section through the blades referred to the maximum runner diameter $\pm 0.1 \%$
- Inclination of inner and outer sections $\pm 0.5^\circ$
- Local blade thickness $+ 0.08 e + 2 \text{ mm}$
(e local blade thickness in mm)
 $- 0.04 e - 2 \text{ mm}$

With impulse turbines :

- The templates checking the bucket form referred to the bucket width $\pm 1 \%$
- Bucket inclination $\pm 1^\circ$

— Angle de sortie	$\pm 2^\circ$
— Rayon Pelton (rapporté à la largeur de l'auget)	$\pm 1 \%$
— Ecart d'alignement du jet sur l'auget (par rapport à la largeur de l'auget)	$\pm 1 \%$
— Gabarit pour la forme du pointeau et de l'injecteur. Ecart rapporté au diamètre de l'injecteur	$\pm 0,2\%$

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60193:1965

Withdrawn

— Discharge angle	$\pm 2^\circ$
— Jet circle radius (referred to bucket width)	$\pm 1 \%$
— Misalignment of jet on bucket (referred to bucket width)	$\pm 1 \%$
— Templates for the form of the needle and nozzle referred to the nozzle diameter	$\pm 0.2\%$

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60193:1965

Withdrawn

CHAPITRE V — MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS

1. Choix du laboratoire

Tout laboratoire remplissant les stipulations du Chapitre IV peut être considéré comme convenable pour l'exécution d'essais de réception sur modèles réduits.

2. Période des essais

La date des essais sur modèles couverts par ce code doit être précisée dans le contrat.

3. Personnel

Les essais doivent être conduits par un personnel ayant une expérience spéciale du matériel d'essai particulier utilisé, sous la supervision de représentants qualifiés de chacune des parties. Ces derniers doivent avoir, dans chaque domaine, des droits égaux.

Si, après accord spécial entre les parties, un expert indépendant est appelé pour agir comme chef des essais, il prendra dans un tel cas la pleine responsabilité de l'exécution correcte de l'essai et de l'interprétation des résultats en accord avec ce code. Il aura à prendre toute décision précise, mais devra recevoir et prendre en considération toute remarque ou suggestion de chacun des représentants des deux parties.

4. Programme d'essais

Lors de la préparation des essais, un programme technique détaillé sera établi en coopération entre les parties. Selon les garanties du contrat, ce programme doit donner des détails sur chacun des sujets suivants :

4.1 Type d'essais

Il devra être précisé si, outre les mesures classiques concernant le rendement et d'autres caractéristiques (vitesse d'emballement, etc.) effectuées sans cavitation, l'essai comporte aussi des essais de cavitation. L'essai de cavitation peut être un essai séparé pour déterminer les courbes caractéristiques complètes de cavitation.

4.2 Etendue des essais

Un nombre minimum de points d'essais pour chaque réglage doit être précisé à l'avance et ceux-ci doivent être concentrés avec un espacement convenable à l'intérieur des limites de vitesse correspondant à la gamme désirée. Le nombre d'essais répétés pour chaque point d'essai doit être choisi en accord avec l'article VI.4.

4.3 Instruments de mesure

Il peut y avoir deux instruments de mesure ou davantage pour mesurer la même quantité, mais seulement l'un d'entre eux doit être considéré comme valable. Un autre instrument peut être lu pour servir de référence seulement, de cette façon le fonctionnement correct de l'instrument valable peut être vérifié. Les instruments choisis doivent être indiqués clairement dans le programme.

5. Inspection

Le modèle de turbine doit être inspecté et contrôlé avec précision en ce qui concerne sa forme géométrique et ses dimensions (voir chapitre IV) avant qu'aucun essai ne soit commencé. Les indications exactes de toutes les échelles servant à déterminer la position des pales, des directrices et du pointeau ainsi que toutes les valeurs essentielles seront incluses dans les comptes rendus.

CHAPTER V — TEST PROCEDURE

1. Choice of laboratory

Any laboratory satisfying the stipulations of Chapter IV may be considered suitable for the execution of acceptance model tests.

2. Time for tests

The date for model tests covered by this code should be stated in the contract.

3. Personnel

The tests should be carried out by personnel having special experience with the particular test equipment used under the supervision of qualified representatives from each party. The latter shall in all respects have equal rights.

If, after special agreement between the parties, an independent expert may be called to act as chief of the test, he will in such a case take over full responsibility for the correct execution of the test and interpretation of the results in accordance with this code. He shall take all definite decisions, but has to receive for due consideration any remarks or suggestions by any of the parties' representatives.

4. Test programme

As the tests are being planned there shall be worked out in co-operation between the parties a detailed technical programme. This programme shall, with reference to the contract guarantees, give particulars concerning the following items:

4.1 Type of test

It shall be stated whether the test is to cover cavitation tests in addition to the ordinary efficiency measurements and other measurements (runaway speed, etc.) under non-cavitating conditions. The cavitation test may be a separate test for determination of the complete cavitation characteristic curves.

4.2 Extent of test

A stipulated minimum number of test points for the same setting are to be concentrated with suitable spacing within speed limits corresponding to the desired range. The number of runs for each test point shall be chosen in accordance with Clause VI.4.

4.3 Measuring instruments

There may be two or more measuring instruments for the same quantity, but only one shall be considered valid. Another instrument may be read off for reference only. The correct functioning of the valid instrument may be checked in this way. The selected instruments shall be clearly indicated in the programme.

5. Inspection

The model turbine shall be inspected and accurately measured with respect to its geometrical shape and dimensions (see Chapter IV) before any test is started. The true indications of all scales for the position of blades and wicket gates and of the needle setting shall be included and all essential figures entered in the records.

Le circuit d'essai complet y compris son instrumentation doit également être vérifié. Une attention spéciale doit être donnée aux instruments de mesure de débit et aux prises de pression.

6. Etalonnage

En rapport avec l'inspection, on doit procéder à des étalonnages complets de tous les instruments de mesure. Il est ensuite recommandé que les vis de réglage (sur les échelles des instruments, le bras du dynamomètre, etc.) soient scellées. Ceci exclura des hésitations ultérieures et des discussions au sujet de la position exacte de tels éléments. Les étalonnages seront répétés après que l'essai principal aura été effectué. Si l'étalonnage après essai diffère de moins que les inexactitudes énumérées à l'article VI.3. de l'étalonnage initial, celui-ci sera utilisé pour le calcul des résultats. Si l'étalonnage diffère de plus que les quantités énumérées à l'article VI.3. l'essai sera proclamé non valable.

Chacune des parties peut demander un réétalonnage de chacun des instruments pendant la conduite des essais.

7. Essais préliminaires

Avant que l'essai ordinaire soit démarré, on doit faire un essai préliminaire couvrant un petit nombre de points représentatifs pour l'essai principal. Le but d'un tel essai est de donner au personnel d'essai une occasion de vérifier le fonctionnement correct de l'installation complète, en accord avec les conditions du chapitre IV, et ce qui est peut être même plus important, d'obtenir une base pour un accord sur les inexactitudes de mesure.

8. Comptes rendus

Des comptes rendus complets donnant en plus des lectures sur la turbine, les instruments de mesure, etc. pour les essais principaux, des détails complets sur les résultats de l'inspection, de l'étalonnage et de l'essai préliminaire, doivent être fournis en un nombre d'exemplaires suffisant. Après avoir été approuvés et signés par les parties, les comptes rendus doivent être conservés en un jeu complet par chaque partie.

9. Répétition des essais

Si l'une des parties, pour des raisons clairement expliquées et valables, est mécontente des dispositifs d'essais, ou des résultats obtenus, elle aura le droit de refuser de signer le compte rendu et de demander un nouvel essai.

Une autre raison pour la répétition d'un essai, sans changer les garanties, serait que pendant la construction du prototype ou son installation il y ait eu des écarts tels depuis les conditions du premier modèle que les écarts de la similitude géométrique sur laquelle l'essai était basé, dépasseraient les écarts permis du paragraphe IV.2.4.

10. Coût de la répétition d'un essai

Il est recommandé que la responsabilité du coût d'un étalonnage répété (article V.6.) ou d'essais répétés (article V.9.) soit clairement établie dans les documents contractuels.

The complete test circuit with its instrumentation also has to be thoroughly checked. Special attention should be paid to discharge measuring devices and pressure tappings.

6. Calibration

In connection with the inspection complete calibrations shall be made of all measuring instruments. It is recommended that all adjusting screws (on instrument scales, dynamometer arm, etc.) then be sealed. This will exclude later uncertainty and discussion about the proper position of such elements. The calibrations shall be repeated after the main test has been finished. If the calibration after test differs by less than the inaccuracies listed in Clause VI.3. the original calibration shall be used for computing results. If the calibration differs by more than the amount listed in Clause VI.3. the test shall be deemed invalid.

Any one of the parties may call for re-calibration of any instrument during the run of the tests.

7. Preliminary test

Before the ordinary testing is started, there should be made a pre-test covering a small number of points, representative for the main test. The purpose of such a test is to give the testing staff an opportunity to check the correct functioning of the complete installation in accordance with the requirements of Chapter IV, and, which is perhaps even more important, to obtain a basis for the agreement on measuring inaccuracy.

8. Records

Complete records, giving besides all readings on turbine instrument scales, etc., from the main tests, full details on the results of inspection, calibration and preliminary testing, shall be produced in a sufficient number of copies. After being approved and signed by the parties, the records shall be kept in one full set by each party.

9. Repetition of tests

If any of the parties for clearly explained and valid reasons is dissatisfied with the test arrangement or the results obtained, he shall have the right to refuse signing the records and to demand a new test.

Another reason for repetition of the test, without changing the guarantees, would be that during the manufacture of the prototype machine or upon installation of the same, there have been stated such deviations from the conditions of the first model test that the deviations from the assumption of geometric similarity, upon which the test was based, exceed the permissible deviations of Sub-clause IV.2.4.

10. Cost of repeated test

It is recommended that the responsibility for the cost of repeated calibrations (Clause V.6) or repeated tests (Clause V.9) be clearly stated in the contract documents.

CHAPITRE VI — CALCUL DES RÉSULTATS

1. Calcul des caractéristiques du modèle

1.1 Généralités

En utilisant les méthodes de mesure décrites dans la deuxième partie, les résultats doivent fournir pour chaque point d'essai le débit d'eau (Q_p) la chute (H_p) la puissance (P_p) et le nombre tours par minute (n_p) de la turbine prototype calculés par les formules suivantes :

$$1) \quad Q_p = Q_m \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^{1/2} \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^2$$

$$2) \quad P_p = P_m \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^{3/2} \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^2$$

$$3) \quad n_p = n_m \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^{1/2} \left(\frac{D_m}{D_p} \right)$$

Le rendement turbine qui est inchangé par cette conversion est :

$$\eta_p = \eta_m = \frac{P_t}{Q H_n} \times \frac{1}{\gamma} \text{ en utilisant des unités cohérentes.}$$

1.2 Comparaison au rendement garanti sur modèle

Lorsque le rendement modèle est garanti, un tableau sera établi de la manière suivante pour chaque chute garantie :

TABLEAU III

Q_p	η_p	η garanti

1.3 Comparaison au rendement modèle transposé

Lorsque le rendement hydraulique du prototype est garanti en tenant compte de l'effet d'échelle, un tableau sera établi de la manière suivante pour chaque chute garantie :

TABLEAU IV

Q_p	η_m	η_p	η garanti

CHAPTER VI — COMPUTATION OF RESULTS

1. Calculation of model performance

1.1 General

Using the methods of measurement described in Part 2, the test data shall provide for each test point, the quantity of water (Q_p) the head (H_p), the turbine output (P_p) and the speed (n_p) of the prototype turbine given by the following formulae:

$$1) \quad Q_p = Q_m \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^{1/2} \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^2$$

$$2) \quad P_p = P_m \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^{3/2} \left(\frac{D_p}{D_m} \right)^2$$

$$3) \quad n_p = n_m \left(\frac{H_p}{H_m} \right)^{1/2} \left(\frac{D_p}{D_m} \right)$$

The turbine efficiency which is taken over unchanged for this conversion is:

$$\eta_p = \eta_m = \frac{P_t}{Q H_n} \times \frac{1}{\gamma} \text{ using consistent units.}$$

1.2 Comparison to guaranteed model efficiency

When the model efficiency is guaranteed, a table will be established in the following manner for each guaranteed head:

TABLE III

Q_p	η_p	η guaranteed

1.3 Comparison to scaled-up model efficiency

When the prototype hydraulic efficiency is guaranteed with an allowance for scale effect, a table will be established in the following manner for each guaranteed head:

TABLE IV

Q_p	η_m	η_p	η guaranteed

avec η_p donné par :

$$\eta_p = \eta_m + \Delta\eta = \frac{P_t}{\gamma Q H_n} + \Delta\eta$$

$\Delta\eta$ étant calculé comme il est expliqué à l'article VI.6.

1.4 Comparaison à la puissance garantie sur modèle

Lorsque la puissance est garantie sur modèle, un tableau sera établi de la manière suivante pour chaque chute garantie :

TABLEAU V

Q_p	P_p	P garanti

1.5 Comparaison à la puissance du prototype

Lorsque la puissance est garantie sur le prototype, un essai sur place peut être fait (Publication 41 de la C E I : Code d'essai sur place) ou une formule de transposition de puissance peut être incluse dans un accord entre les parties conclu avant d'établir le contrat.

2. Incertitudes de mesure

2.1 Généralités

Toute mesure est inévitablement entachée d'incertitude même quand les méthodes, les instruments et les modes de calculs employés correspondent exactement aux règles du présent code. Lors de la comparaison des résultats d'essais avec les valeurs garanties, il faudra tenir compte de façon appropriée de ces incertitudes de mesure. Ceci peut se faire de différentes façons.

2.2 Erreurs accidentelles et systématiques

Les incertitudes totales comprennent à la fois les erreurs accidentelles et les erreurs systématiques.

L'influence de l'erreur accidentelle doit être réduite en utilisant les méthodes proposées au chapitre V.

L'erreur systématique dépend de la méthode de mesure, qu'il s'agisse d'une méthode primaire ou d'une méthode secondaire nécessitant un étalonnage. Le traitement de l'erreur systématique est défini à l'article VI.3.

2.3 Mesures

Les incertitudes se réfèrent uniquement aux mesures elles-mêmes et non aux performances de la turbine.

3. Erreurs de mesures partielles

S'il n'y a pas d'accord stipulant le contraire, les valeurs suivantes peuvent être utilisées comme guide dans le calcul de la valeur de l'incertitude f_γ (article VI.4.) à partir des valeurs estimées des erreurs à craindre sur chacune des grandeurs individuelles mesurées.

with γ_p given by :

$$\gamma_p = \gamma_m + \Delta\gamma = \frac{P_t}{\gamma Q^{H_n}} + \Delta\gamma$$

$\Delta\gamma$ being computed as explained in Clause VI.6.

1.4 Comparison to guaranteed model output

When output is guaranteed on the model, a table will be established in the following manner for each guaranteed head :

TABLE V

Q_p	P_p	P guaranteed

1.5 Comparison to prototype output

When output is guaranteed on the prototype, a field test can be made (I E C Publication 41, Field Test Code) or an output transposition formula can be agreed upon between parties before establishing the contract.

2. Inaccuracies in measurement

2.1 General

Every measurement is attended by unavoidable inaccuracies even when the methods, instruments and calculations employed correspond exactly with this Code. When comparing the results of the tests with the guarantee figures, these inaccuracies in measurement must be taken into account in a suitable manner. This can be done in various ways.

2.2 Random and systematic errors

The total inaccuracies include both random and systematic errors.

The influence of the random errors shall be reduced, using the methods set forth in Chapter V.

The systematic error depends on the method of measurement, on whether it is a primary method, or a secondary method needing calibration. The treatment of systematic error is defined in Clause VI.3.

2.3 Measurements

Inaccuracies relate only to the measurements themselves and do not relate to the performance of the turbine.

3. Individual errors in measurement

If there is no agreement to the contrary, the following values can be used as a guide for the calculation of a value for probable inaccuracy f_γ (see Clause VI.4) from the estimated inaccuracies of each individual item measured.

		<i>Erreurs à craindre f_Q</i>
3.1	<i>Débit</i>	
3.1.1	Réservoir	$\pm 0,3\%$
3.1.2	Bâche peseuse	$\pm 0,3\%$
3.1.3	Ecran mobile	$\pm 0,3\%$
3.1.4	Déversoir sans contraction latérale étalonné sur place	$\pm 0,5\%$
3.1.5	Déversoir sans contraction latérale non étalonné	$\pm 1,5\%$
3.1.6	Diaphragme normalisé, tuyère normalisée, tube de Venturi normalisé à l'état de neuf fonctionnant selon les normes de l'ISO	ISO
3.1.7	Diaphragme normalisé, tuyère ou tube de Venturi étalonné sur place	$\pm 0,5\%$

3.2 *Surface libre*

Mesure de la différence d'altitude h (en m) entre deux plans d'eau libres (excepté pour un déversoir).

		<i>Erreurs à craindre f_h</i>
3.2.1	Avec pointe de mesure recourbée, } flotteur, échelles fixes	$\frac{1}{h} \%$

3.3 *Pression*

Erreurs à craindre f_p

3.3.1	Manomètre à poids	$\pm 0,1\%$
3.3.2	Manomètre à colonne de mercure (h en m)	$\pm \frac{0,1}{h} \%$
3.3.3	Manomètre à ressort, si l'étalonnage a lieu sur place	$\pm 0,5\%$

3.4 *Puissance*

Par mesure du couple et de la vitesse de rotation.

3.4.1	Couple	<i>Erreur à craindre $f_T \pm 0,2\%$</i>
3.4.2	Vitesse	<i>Erreur à craindre $f_n \pm 0,1\%$</i>

3.5 *Mesures du temps*

La mesure du temps est aussi sujette à des erreurs systématiques et accidentelles qui doivent être recherchées. Dans la plupart des cas, les erreurs systématiques sont négligeables.

3.6 *Hauteur de chute*

L'erreur à craindre f_H peut se calculer avec une bonne approximation à partir de l'erreur à craindre f_h sur le niveau h , de l'erreur à craindre f_p sur la pression p et du poids spécifique γ par :

$$f_H = \pm \frac{(f_h \cdot h) + (f_p \cdot p/\gamma)}{h + p/\gamma}$$

3.1	<i>Rate of water flow</i>	<i>Probable inaccuracy f_Q</i>
3.1.1	Reservoir	$\pm 0.3\%$
3.1.2	Weighing tank	$\pm 0.3\%$
3.1.3	Moving screen	$\pm 0.3\%$
3.1.4	Weir without end contraction calibrated <i>in situ</i>	$\pm 0.5\%$
3.1.5	Weir without end contraction uncalibrated	$\pm 1.5\%$
3.1.6	Standard orifices, standard nozzles, standard Venturi tubes in new conditions operating according to ISO standards	ISO
3.1.7	Standard orifices, nozzles or Venturi tubes calibrated <i>in situ</i>	$\pm 0.5\%$

3.2 *Free level*

Measurement of free water level differences h (in m)
(Not for weir measurement).

		<i>Probable inaccuracy f_h</i>
3.2.1	With pointed hook, float gauge, fixed scales }	$\frac{1}{h} \%$

3.3 *Pressure*

		<i>Probable inaccuracy f_p</i>
3.3.1	Weight manometer	$\pm 0.1\%$
3.3.2	Mercury column manometer (h in m)	$\pm \frac{0.1}{h} \%$
3.3.3	Spring pressure gauge, if calibrated at site	$\pm 0.5\%$

3.4 *Output*

By measurement of torque and speed.

3.4.1	Torque	<i>Probable inaccuracy f_T</i> $\pm 0.2\%$
3.4.2	Speed	<i>Probable inaccuracy f_n</i> $\pm 0.1\%$

3.5 *Time*

The time measurement is also subject to systematic and random errors which shall be investigated. In most cases, systematic errors are negligible.

3.6 *Head*

This inaccuracy f_H can be computed with a fair approximation from the inaccuracy f_h of the head h , from the inaccuracy f_p of the pressure p , and from the specific weight γ by:

$$f_H = \pm \frac{(f_h \cdot h) + (f_p \cdot p/\gamma)}{h + p/\gamma}$$

4. Rendement de la turbine

L'erreur à craindre f_η sur la détermination du rendement de la turbine est calculée à partir des erreurs individuelles par :

$$f_\eta = \pm \sqrt{f_Q^2 + f_H^2 + f_T^2 + f_n^2}$$

5. Erreur accidentelle dans les mesures

L'erreur accidentelle probable dans les mesures sera déterminée d'une façon statistique normale et des observations en nombre suffisant seront effectuées pour réduire l'erreur probable à moins de $\pm 0,1\%$.

6. Application des formules d'effet d'échelle

Dans les cas où le rendement du prototype doit être basé sur les essais modèle corrigés de l'effet d'échelle par une formule sur lequel un accord a été pris, les rendements prototype seront obtenus en ajoutant $\Delta\eta$ comme calculé ci-dessous au rendement modèle du tableau IV :

L'effet d'échelle en rendement $\Delta\eta$ est obtenu à partir des équations suivantes :

$$\Delta\eta = (1 - \eta_m) \left(1 - \frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m} \right)$$

où $\frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m}$ est donné par la formule d'effet d'échelle adoptée suivant les règles correspondantes également adoptées.

Si aucune formule n'a été adoptée avant l'essai, les formules suivantes seront utilisées ($\Delta\eta$ étant calculé individuellement pour chacun des points garantis) :

Pour les turbines Kaplan et les turbines hélice, la formule de Hutton :

$$\frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m} = 0,3 + 0,7 \cdot \left[\frac{D_m \nu_p}{D_p \nu_m} \left(\frac{H_m}{H_p} \right)^{1/2} \right]^{1/5}$$

Pour les turbines Francis, la formule de Moody, qui pour plus de facilités est supposée s'appliquer aux rendements hydrauliques comme suit :

$$\frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m} = \left(\frac{D_m}{D_p} \right)^{1/5}$$

Pour les turbines Pelton on suppose que $\eta_p = \eta_m$.

7. Vitesse d'emballement

La vitesse d'emballement du prototype sera calculée à partir des essais d'emballement modèle en tenant compte des pertes de puissance des paliers et butées à la vitesse d'emballement et des pertes par ventilation de l'alternateur.

Il est cependant nécessaire que les mesures de vitesse d'emballement soient effectuées de manière à ce que la courbe couple-vitesse puisse être obtenue pour les valeurs les plus faibles du couple de la turbine, modèle réduit.

4. **Turbine efficiency**

The inaccuracy f_{η} of the turbine efficiency determination is computed from the estimated individual inaccuracies by :

$$f_{\eta} = \pm \sqrt{f_Q^2 + f_H^2 + f_T^2 + f_n^2}$$

5. **Random errors in measurement**

The probable random error of the measurement will be determined in the normal statistical manner and enough observations shall be taken to reduce the probable error to within $\pm 0.1\%$.

6. **Application of scale formula**

In these cases where the prototype efficiency is to be based on model tests scaled-up by some agreed formula, prototype efficiencies should be obtained by adding $\Delta\gamma$ as calculated below to the model efficiencies of Table IV.

The increase in efficiencies $\Delta\gamma$ is obtained from the following equation :

$$\Delta\gamma = (1 - \eta_m) \left(1 - \frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m} \right)$$

where $\frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m}$ is given by the agreed scale formula applied according to the corresponding rules also agreed upon.

If no formula is agreed beforehand, the following shall be used ($\Delta\gamma$ being computed for each individual guaranteed point):

For Kaplan and propeller turbines, the Hutton formula :

$$\frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m} = 0.3 + 0.7 \cdot \left[\frac{D_m \nu_p}{D_p \nu_m} \left(\frac{H_m}{H_p} \right)^{1/2} \right]^{1/5}$$

For Francis turbines, the Moody formula, which, for convenience is assumed to cover hydraulic efficiencies, as follows :

$$\frac{1 - \eta_p}{1 - \eta_m} = \left(\frac{D_m}{D_p} \right)^{1/5}$$

For impulse turbines it is assumed that $\eta_p = \eta_m$.

7. **Runaway speed**

The runaway speed of the prototype will be calculated from the runaway model test results by taking into account the power losses of the thrust and guide bearings at runaway speed and the windage losses of the generator.

It is therefore necessary that the measurement of runaway speed be carried out so as to provide the torque-speed relationship for the smallest values of the model-runner torque.

CHAPITRE VII — RAPPORT FINAL

1. Préparation du rapport

Le rapport final sera préparé sous forme de projet soumis à l'acheteur et au fournisseur de la turbine afin d'obtenir l'approbation des deux parties quant au détail du calcul et à la présentation des résultats. Les divergences éventuelles entre les points de vue seront réglées entre les deux parties, chacune jouissant de droits égaux en ce qui concerne la détermination de la forme définitive à donner au rapport.

2. Teneur du rapport final

Le rapport final doit comprendre les matières suivantes, l'ordre indiqué ci-après n'étant pas obligatoire :

- 2.1 But des essais.
- 2.2 Transcription de tous les accords préliminaires intéressant les essais.
- 2.3 Personnel participant aux essais.
- 2.4 Description du modèle de la turbine.
- 2.5 Description de l'équipement et des étalonnages utilisés pour mesurer la puissance, la chute, le débit et la vitesse.
- 2.6 Procédure adoptée pour les essais.
- 2.7 Exemple de calcul, pour un essai individuel au moins, en indiquant tous les détails depuis les données d'origine jusqu'au résultat final.
- 2.8 Si nécessaire, compte rendu journalier du déroulement de l'essai.
- 2.9 Formule de transposition utilisée, s'il en est fait usage et justification de son application.
- 2.10 Tableau des résultats des calculs.
- 2.11 Déclaration relative à l'erreur à craindre pour chaque catégorie de mesure, ainsi qu'à l'erreur à craindre pour des résultats basés sur des combinaisons de mesures. Les influences défavorables pendant les essais doivent être notées.
- 2.12 Discussion des résultats d'essais; comparaison avec les valeurs garanties et conclusions techniques.

CHAPTER VII — FINAL REPORT

1. Preparation of report

The final report shall be prepared in draft form and submitted to the purchaser and supplier of the turbines, to obtain approval of both parties as to the details of calculation and the presentation of results. Any difference in viewpoint shall be resolved by both parties, with each having equal rights in determining the final form of the report.

2. Content

The final report shall contain, but not necessarily in this order, the following :

- 2.1 Object of test.
- 2.2 Record of any preliminary agreements pertinent to the test.
- 2.3 Personnel taking part in the test.
- 2.4 Description of model turbine.
- 2.5 Description of equipment and calibrations used for power, head, flow and speed measurements.
- 2.6 Procedure in making the tests.
- 2.7 Sample calculation for at least one run in detail from original data to final result.
- 2.8 If requested, daily log of the events of the test.
- 2.9 Efficiency step-up formula used, if any, and procedure for calculation.
- 2.10 Tabulation of results of calculations.
- 2.11 Statements as to inaccuracy of each class of measurement and inaccuracy of data based on combined measurements. Unfavourable influences during the tests shall be recorded.
- 2.12 Discussion of the test results; comparison with the guaranteed data, and technical conclusions.

Deuxième partie — Méthodes de mesure

CHAPITRE VIII — MÉTHODES DE MESURE DU DÉBIT

Les méthodes de mesure du débit absorbé par un modèle réduit de turbine peuvent être groupées en deux catégories :

a) *Méthodes primaires* (mesure de longueur, de temps et de poids) qui comprennent les méthodes volumétriques et gravimétriques et l'écran d'Andersson.

b) *Méthodes secondaires* qui comprennent :

Détermination de la répartition de vitesse par des moulinets ou tubes de Pitot d'une part; déversoirs et appareils déprimogènes tels que Venturis, diaphragmes, d'autre part. Alors que la méthode de répartition de vitesse est rarement utilisée pour les essais modèles, les méthodes piézométriques (déversoirs et appareils déprimogènes) sont particulièrement adaptées car elles permettent des mesures pouvant être faites en un temps relativement court. La détermination des débits à partir de leurs indications requiert néanmoins un étalonnage qui peut seulement être mené à bien par une des méthodes a), à moins que ces appareils soient installés conformément à des normes dont la précision puisse être considérée comme satisfaisante. De plus, dans le but de se prémunir contre tous dérangements accidentels de ces instruments, il peut être recommandé d'utiliser simultanément plusieurs instruments de mesure en série ainsi qu'il est précisé au paragraphe IV.1.4.

1. Mesure des débits par jaugeage volumétrique

La précision de cette méthode étant directement fonction du degré d'exactitude avec lequel est connue la capacité du réservoir, on attachera le plus grand soin à la détermination de cette capacité, qui devra être vérifiée régulièrement.

Le procédé le plus précis pour l'évaluer consiste en une pesée de l'eau contenue dans le réservoir. Cette méthode est applicable directement dans le cas de petits réservoirs transportables.

Quand il s'agit de grands réservoirs fixes, on peut procéder par totalisation.

Dans ce cas, on tarera le réservoir principal au moyen d'un réservoir auxiliaire qui aura la forme d'une pipette de façon que son niveau de remplissage détermine avec précision le volume utilisé.

On tiendra compte de l'eau qui adhère à la paroi du réservoir de tarage à vide, le volume de cette eau résiduelle variant avec le temps d'égouttage et un peu avec la température (à cause de la viscosité et de la tension superficielle).

On peut d'autre part déterminer le volume en mesurant les dimensions géométriques. Il convient alors de faire un très grand nombre de mesures pour tenir compte de toutes les irrégularités des parois.

Chaque fois qu'il sera possible, on emploiera plusieurs méthodes pour mesurer la capacité du réservoir; en tout cas, on tracera toujours une courbe ou une table des volumes en fonction des niveaux de l'eau.

On déterminera après chaque mesure l'importance des erreurs commises.

Il y a lieu de se prémunir contre certaines causes d'erreurs telles qu'absorption de l'eau par les enduits, déformation des parois, fuites, apports divers, en particulier par eau de pluie, évaporation, etc.

Part 2 — Methods of measurement

CHAPTER VIII — METHODS OF DISCHARGE MEASUREMENT

The measuring methods for discharge through a model turbine can be grouped in two classes :

- a) *Primary methods* (measurement of length, time and weight) which comprise gravimetric, volumetric methods and the Andersson screen.
- b) *Secondary methods*, which comprise :

Determination of velocity by current-meters or Pitot tubes on one hand, weirs and differential meters such as Venturis, orifice plates, etc., on the other. While velocity distribution is seldom used for model tests, piezometric methods (weirs and differential meters) are particularly convenient to use, for they allow measurements to be made in a relatively short time. The determination of discharge from their indications nevertheless requires a calibration which can only be carried out by one of the *a)* methods, unless those meters are installed according to standards, the accuracy of which can be considered as satisfactory. Moreover, in order to guard against any accidental malfunctioning of these instruments, it may be recommended to use simultaneously several measuring instruments in series, as stated in Sub-clause IV.1.4.

1. Discharge measurements by volumetric measurement

The accuracy of this method is a direct function of the degree of exactness with which the capacity of the reservoir is known. The greatest care must be taken in establishing this capacity, which shall be regularly checked.

The most precise method of calibration consists in weighing the water contained in the reservoir. This method is applicable directly in the case of small movable reservoirs.

When using large fixed reservoirs, a totalizing method can be used.

In this case, the main reservoir is calibrated by means of an auxiliary reservoir that is of the form of a calibrated pipe so that its level of filling determines with precision the volume utilized.

One must take into account the water that adheres to the walls of the calibrating reservoir when empty, the volume of this residual water varies with the time of draining out and a little with the temperature (due to the viscosity and the surface tension).

One may, on the other hand, determine the volume by measuring the geometric dimensions. It is necessary to make a very large number of measurements to take account of all the irregularities in the walls.

Whenever possible, several methods shall be used to measure the capacity of the reservoir; in any case a curve or a table of volume versus water level shall be established.

After each measurement, the magnitude of the errors shall be determined.

It is also necessary to provide against certain errors such as the absorption of water by coatings or linings, deformation of the walls, leakage, and other causes, particularly rain, evaporation, etc.

On s'efforcera de proportionner les réservoirs avec les débits à mesurer de manière à réduire au maximum les erreurs de mesure du temps et de la hauteur d'eau.

Les réservoirs fixes ou transportables seront vérifiés après leur remplissage; des précautions spéciales seront prises pour contrôler qu'aucune déformation ne s'est produite pendant la construction ou le transport. Ces réservoirs seront conçus spécialement et exécutés dans un matériau approprié; en particulier ces réservoirs pourront être en tôle d'acier renforcée par des profilés.

1.1 *Installation*

Les réservoirs sont généralement constitués par un cylindre à axe vertical de section circulaire en acier ou en béton fortement armé et revêtu d'un enduit étanche.

Si les conditions locales nécessitent leur exécution en excavation, il y a intérêt à ménager un vide de protection autour de leur enveloppe extérieure en vue d'éviter toute déformation sous l'influence de la poussée des terres.

Le volume utilisé pour la mesure doit normalement correspondre à un temps de remplissage d'au moins 100 secondes. Le rapport de la hauteur au diamètre doit être de préférence relativement grand de manière à donner une bonne mesure du volume de remplissage d'une part, et pour limiter les oscillations dans le réservoir d'autre part.

1.2 *Dispositif de vidange*

La vidange s'effectuera par une vanne de fond, dont l'étanchéité doit pouvoir être contrôlée, ou mieux encore, par un siphon muni d'un dispositif de désamorçage efficace.

1.3 *Mesure des cotes du plan d'eau*

La cote du plan d'eau peut être mesurée au moyen d'une pointe de mesure ou d'un limnigraphe; mais, pour les grands débits, par suite des amplitudes relativement importantes de la variation du plan d'eau, ces appareils sont de préférence installés dans un puits de mesure comportant une face transparente et munis d'une règle graduée fixe.

Des précautions doivent être prises pour éliminer les erreurs, dues aux différences de température entre le réservoir et le puits de mesure.

1.4 *Dispositif d'injection d'eau*

Le dispositif d'injection d'eau doit permettre de dériver le débit de l'installation d'essai, soit à l'intérieur, soit à l'extérieur des réservoirs dans un temps aussi court que possible. Il est souhaitable de faire en sorte que l'erreur due à la non-instantanéité de manœuvre du dispositif n'excède pas 20 à 50 % du temps nécessaire à une manœuvre. Le dispositif d'injection peut être constitué par une conduite oscillante, ou un déflecteur. Un temps de remplissage inférieur à 100 secondes peut être utilisé après accord mutuel. Toutefois, pour les débits importants qui pourraient mettre en jeu de très grands efforts, on peut utiliser un partiteur à manœuvre relativement lente (1 à 2 secondes), à la condition que son alimentation soit telle que la loi de variation du débit en fonction de la course du partiteur soit immuable, de préférence linéaire, et de toute manière contrôlable.

Pour les réservoirs de grandes dimensions, l'injection doit être complétée par un dispositif ayant pour objet de réduire l'entraînement d'air à l'intérieur du réservoir (alimentation guidée jusque dans la partie inférieure du réservoir, désaérateur centrifuge). La mesure de niveau ne doit pas être effectuée avant la disparition des bulles d'air.

1.5 *Mode opératoire*

Le réservoir est d'abord rempli jusqu'à ce que le niveau atteigne une cote mesurable.

Every effort should be made to proportion the reservoirs with respect to the flows to be measured so that errors of time and level will be kept as small as possible.

The reservoirs, whether fixed or movable, shall be checked by filling, especial care being taken to check any distortion which may have arisen during construction or transportation. Reservoirs for these purposes should be constructed of the proper materials; in particular the reservoirs can be of steel plate reinforced on the sides.

1.1 *Installation*

Reservoirs are generally of cylindrical form with the circular section on the vertical axis and are of steel or reinforced concrete with a watertight lining.

If local conditions require the installation in an excavated area, it is desirable to provide an empty space around the exterior walls to avoid any deformation due to earth pressure.

The volume used for measurement should normally correspond to a filling time of at least 100 seconds. The ratio of height to diameter should preferably be relatively large to provide good accuracy relative to the filling volume on one part and to limit the oscillations in the reservoir on the other.

1.2 *Drain valve*

Draining will be accomplished by a valve at the bottom, the tightness of which can be checked, or preferably by a siphon supplied with an effective vacuum breaker.

1.3 *Measurement of height of water surface*

The height of the water level can be measured by a point gauge or a "float gauge"; but for large discharges on account of the relatively great variation in the water surface, these devices should preferably be installed in a stilling chamber having a transparent side and furnished with a fixed graduated scale.

Care shall be taken to eliminate errors due to temperature differences between the reservoir and the stilling chamber.

1.4 *Method of inflow*

The means of admitting water to the measuring tank must allow the diversion of the flow from the test installation either from the interior or exterior of the reservoirs in as short a time as possible. It is desirable to provide means to keep the error, due to the non-instantaneous movement of this device, to at most 20 to 50% of the time necessary for its full travel. This inflow device can consist of a movable channel or a deflector. Collecting time less than 100 seconds can be used by agreement. In any case, for large flows which can result in very large forces, a deflector can be used with a relatively slow movement (1 to 2 seconds) providing its discharge is such that the variation of flow as a function of the stroke of the deflector is constant and should preferably be linear and be completely controllable.

For large size reservoirs, the inflow must provide means for reducing the entrainment of air into the reservoir (the inflow may be guided to the lowest part of the reservoir through a centrifugal de-aerating device). The water level measurement shall not be taken until the water is free from bubbles.

1.5 *Method of operation*

The reservoir is first filled just to the level of initial measurement.

Après avoir atteint ce niveau, l'installation d'essai étant par ailleurs en régime de fonctionnement permanent, on commute brusquement le dispositif d'injection pour remplir le réservoir. Lorsque celui-ci est jugé suffisamment plein, la manœuvre inverse du dispositif d'injection dirige l'eau vers l'extérieur du réservoir.

On attend que les remous soient parfaitement calmés et on procède à la lecture du nouveau niveau. Le déplacement du dispositif d'injection peut être enregistré en même temps que les tops d'une pendule à contact électrique.

Si l'on dispose d'une alimentation très soignée, il est intéressant d'enregistrer, en outre, la montée du plan d'eau au cours du remplissage. Cet enregistrement permet d'observer les variations éventuelles du plan d'eau avant et après l'opération du remplissage et de mettre ainsi en évidence l'influence de l'air entraîné par l'eau, qui ne se dégage que lentement.

1.6 Corrections

L'étalonnage du réservoir est effectué par méthode volumétrique ou par pesée à plusieurs reprises et, si possible, pour des températures d'eau différentes.

Toute mesure de débit au moyen de réservoirs doit être corrigée en tenant compte de la température de l'eau, des pertes par évaporation, et de l'eau adhérent à la paroi. Le stockage de l'eau dans la capacité réduit généralement de manière appréciable le volume de la citerne d'alimentation de la station d'essais. De ce fait, le niveau dans cette dernière diminue au cours du remplissage du réservoir jaugé, entraînant une variation du débit dans l'installation. On peut tenir compte de cette variation en enregistrant le débit au cours du tarage ou en corrigeant le réglage de l'installation de manière à compenser la variation du plan d'eau ou encore, ce qui est préférable, en disposant entre la citerne et l'entrée de la pompe un petit réservoir commandé par une vanne réglant automatiquement le plan d'eau à l'entrée de la pompe, à une cote constante indépendante de celle dans la citerne.

1.7 Emploi de deux réservoirs jaugés

Pour réduire l'erreur due au temps de commutation du débit ou si l'on désire totaliser les débits écoulés pendant une longue durée, on peut employer deux réservoirs jumelés ayant à peu près la même capacité, les mesures étant faites sur l'un pendant que l'autre se remplit. L'erreur sur le temps est alors réduite et seule compte la précision des mesures de volume.

Les deux réservoirs communiquent à leur partie supérieure par un déversoir à arête aiguë de grand développement. A leur partie inférieure, ils sont munis de clapets ou de vannes à manœuvre rapide. Une goulotte permet de dériver l'eau de l'installation vers l'un ou l'autre de ces réservoirs.

Les mesures s'effectuent de la manière suivante. Au top de départ, le dispositif d'injection est manœuvré de manière à dériver l'eau vers l'un des réservoirs préalablement vidé et dont la vanne de vidange est fermée. Le remplissage se poursuit jusqu'à ce que l'eau se déverse dans le second réservoir par le déversoir. Le débit est alors dérivé dans ce second réservoir. Pendant le temps de remplissage de ce dernier (le temps de stabilisation du niveau peut être réduit en diminuant la section des réservoirs à leur partie supérieure), on attend que le niveau soit stabilisé dans le premier réservoir, que l'on vide alors rapidement. A la fin de l'essai alors que le réservoir alimenté n'est pas encore plein, le débit est dérivé vers l'autre réservoir vide ou en cours de vidange. Le volume total injecté est ainsi égal au produit du nombre de remplissages totaux par le volume des réservoirs augmenté du volume stocké en fin d'essai dans le réservoir partiellement rempli.

2. Mesure du débit par pesée

Une variante de la méthode volumétrique est d'emmagasiner le débit pendant un temps donné et de le peser. Ce procédé a l'avantage d'être plus direct que la méthode volumétrique qui dépend elle-même de l'étalonnage de la capacité par empotement de poids connus d'eau. Il est de ce fait plus

After having reached this level, the test installation having already been in steady operation, the inflow device is abruptly moved to discharge into the reservoir. As soon as the reservoir is filled to the desired point, the reverse movement of the inflow device acts to direct the water outside of the reservoir.

It is then necessary to wait until the eddies die out after which the reading of the new level can be taken. The movement of the inflow device can be recorded at the same time as the movement of a pendulum with an electric contact.

If the incoming flow is very smooth, it may be possible to record the increase in level during the filling time. This recording of the level will permit the observation of the variation in water surface before and after the filling operation and thus take account of the influence of air entrainment in the water that may be released very slowly.

1.6 *Corrections*

Calibrations of the reservoir is made by a volumetric method or by weighing various increments of inflow and, if possible, by doing this for different water temperatures.

Any flow measurement using reservoirs must take account of the water temperature, the evaporation losses and the water adhering to the walls of the reservoir. The storing of water in the reservoir will generally reduce appreciably the volume in the supply tank of the testing flume. As a result the level in the latter will drop during the filling of the measuring reservoir and cause a variation in discharge in the test flume. This can be accounted for by recording the flow during the course of the test or by adjusting the regulating devices of the test flume in a manner that will compensate for changes in the water level or preferably by installing between the supply tank and the suction of the pump a small reservoir with a regulating valve to control automatically the level of the water entering the pump to keep this constant independent of that in the supply tank.

1.7 *Use of two calibrated reservoirs*

To reduce the error due to operating time of the flow switching or if it is desired to measure the discharge over a long period, two similar reservoirs having approximately the same capacity can be used, measurements being done on one while the other is filling. The time error is thus reduced and the total error depends largely on the accuracy of measuring the volume.

The two reservoirs are connected at the top by a sharp angle splitter weir. Check valves or quick-acting valves are located at the bottom. A movable channel diverts the water of the installation towards one or the other of these reservoirs.

The measurements are made in the following manner. At the start of the run, the switching device diverts the water towards one of the empty reservoirs whose shut-off valves is closed. The filling continues until the water flows into the second reservoir by means of the weir. The flow is then diverted into the second reservoir. While filling the latter (the stabilizing time of the water level can be reduced by reducing the cross-section of the reservoirs at the top), the water level of the first reservoir is allowed to become stable and is then emptied rapidly. At the end of the run while the filling reservoir is not yet full, the flow is diverted towards the empty or emptying reservoir. The total injected volume is thus equal to the product of the number of total fillings by the volume of the reservoirs plus the volume, at the end of the run, of the partially filled reservoir.

2. **Gravimetric method**

An alternative to the volumetric method is to collect the flow for a known time and weigh it. This has the advantage of being more direct than the volumetric method which itself is dependent upon calibrating the collecting vessel against known weights of water. It is thus much easier to

simple de maintenir une haute précision avec la méthode gravimétrique dont l'emploi est toutefois normalement limité à des débits inférieurs à $1\text{ m}^3/\text{s}$ en raison des dimensions de l'appareillage nécessaire.

2.1 *Réservoir d'entonnement*

Le réservoir doit avoir des dimensions suffisantes pour permettre une durée de remplissage compatible avec la précision demandée et le matériel de mesure de temps utilisé. Sa forme peut être quelconque et il devrait être de préférence d'une construction légère. Des précautions convenables doivent être prises pour éviter le rejaillissement d'eau en dehors du réservoir et des cloisonnements internes doivent être aménagés en vue de réduire les oscillations.

Le réservoir peut être soit suspendu à une bascule ou posé sur son plateau. Dans ce dernier cas, il est essentiel de s'assurer que l'eau ne puisse s'infiltrer dans la bascule.

Pour prévenir les à-coups de charge susceptibles d'être imprimés à l'appareillage de pesée, le réservoir doit être bloqué pendant le temps de remplissage.

Lorsque le réservoir est installé au-dessus de la citerne, une vanne de vidange étanche doit être utilisée ou un dispositif à siphon, l'étanchéité de ces deux systèmes étant soigneusement vérifiée. Lorsque le réservoir est au même niveau que la citerne, une pompe doit être utilisée pour le vider. Celle-ci peut être soit du type à auto-amorçage et être alors installée à l'extérieur, soit du type immergé montée à l'intérieur du réservoir. Dans l'un et l'autre cas, il y a lieu de s'assurer de l'absence de liaison directe par câbles électriques ou canalisations entre le réservoir en cours de pesée et les parties fixes de l'installation. Cela peut être réalisé au moyen de connexions électriques flexibles et de raccordements mobiles de canalisations.

2.2 *Balance*

La balance doit être d'un type agréé, de sensibilité et d'exactitude convenables. Elle doit être contrôlée sur toute son étendue de mesure au moyen de poids de précision, compte tenu de la correction de poussée de l'air. La balance doit être régulièrement entretenue par des experts et tarée dans la position où elle est utilisée pour les essais. Si les poids sont en nombre insuffisant pour couvrir toute l'étendue de mesure de la balance, une méthode par échelons peut être utilisée, après accord mutuel, consistant à remplacer alternativement des poids de précision par de l'eau de manière à remplir le réservoir par échelons, les poids étant utilisés pour contrôler exactement les intervalles.

2.3 *Injection d'eau et mesure du temps*

Le remplissage est fait comme il est indiqué au paragraphe VIII.1.4.

2.4 *Mode opératoire*

Le mode opératoire recommandé consiste à mesurer le poids initial W_1 du réservoir contenant un volume résiduel d'eau, puis à injecter l'eau dans le réservoir pendant un intervalle de temps T mesuré avec précision et enfin à mesurer le poids total W_2 .

Le débit volumétrique injecté est alors :

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{W_2 - W_1}{T}$$

où γ est le poids spécifique de l'eau donné dans le tableau I (Chapitre II).

2.5 *Précautions*

Des corrections appropriées doivent être effectuées concernant la température de l'eau qui doit être mesurée d'une manière régulière pendant toute la durée des essais (un écart de température de 10°C peut modifier le poids spécifique de l'eau de $0,2\%$).

maintain high accuracy with the gravimetric method but its use is normally restricted to flow rates below about 1 m³/s because of the size of apparatus required.

2.1 *Collecting tank*

The tank should be large enough to allow a reasonable collecting time, consistent with the accuracy required and that of the timing apparatus used. It can be of any shape and should preferably be of light construction. Suitable precautions should be taken to avoid water splashing out of the tank and internal baffles should be installed to damp out oscillations.

The tank can be either suspended from the weighing scales or mounted on top. In the latter case it is essential to ensure that no water finds its way into the weighing mechanisms.

In order to prevent shock loads being imposed on the weighing scales, the tank should be clamped during the time that the water is filling it.

When the tank is installed above the sump, a watertight drain valve may be used or a siphon device, both of which must be checked for leakage. When the tank is at the same level as the sump, a pump must be used to empty the tank. This can either be of the submersible type mounted inside the tank, or self-priming type mounted outside. In either case special precautions must be taken to ensure that there is no direct connection by electrical leads or piping between the collecting tank which is being weighed and the fixed parts of the installation. This can be achieved by means of flexible electrical leads and movable pipe connections.

2.2 *Weighing device*

The weighing device should be of an approved type, having suitable sensitivity and accuracy. It should be checked throughout the whole of the range of the device by means of precision weights, due allowance being made for air buoyancy. The device should be regularly serviced by experts and calibrated in the position in which it is used for tests. If insufficient weights are available to cover the full range of the device, an incremental method may be used by mutual agreement whereby water is exchanged alternately for precision weights so as to fill the tank in steps, using the weights to check the intervals accurately.

2.3 *Switching and timing*

The filling is made as indicated in Sub-clause VIII.1.4.

2.4 *Method of operation*

The recommended method of operation is to take an initial weight reading W_1 of the collecting tank plus that of the water remaining in it, switch the water into the tank and collect the flow for an accurately measured time interval T ; measure the final weight W_2 .

The volumetric flow is then :

$$\frac{1}{\gamma} \cdot \frac{W_2 - W_1}{T}$$

where γ is the specific weight given in Table I (Chapter II).

2.5 *Precautions*

Adequate corrections must be made for water temperature which should be measured regularly throughout the tests (a 10 °C change will alter the specific weight by 0.2%).

3. Ecran mobile d'Andersson

3.1 Principe de la méthode

Il se rapproche de celui des méthodes dites volumétriques par le fait que l'on mesure le volume d'eau déplacé dans un canal pendant un temps donné; ce volume est limité par les parois du canal et les positions initiale et finale d'un écran mû par l'écoulement, positions auxquelles l'écran est passé aux temps T_1 et T_2 , la différence $T_2 - T_1$ constituant le « temps de parcours ».

Si nous appelons :

L = la longueur de la base de mesure entre deux repères

A = la section mouillée du canal

$t = T_2 - T_1$ le temps total de parcours entre ces deux repères

Q = le débit à mesurer

$$Q = \frac{L \times A}{t}$$

Notons que la section mouillée est souvent rectangulaire donc, dans ce cas, égale au produit de la hauteur d'eau h par la largeur l du canal de mesure.

3.2 Installations

Le canal de mesure doit comporter un élément rectiligne horizontal, de section généralement rectangulaire, et très exactement calibré sur toute sa longueur *; cette longueur doit être par ailleurs suffisante de sorte que le régime permanent de l'écran puisse être établi dans tout le tronçon compris entre les deux repères de mesure.

L'écran, le plus souvent supporté par un chariot roulant sur des rails ** installés le long du tronçon rectangulaire du canal, est souvent constitué par un panneau léger et rigide monté sur un bâti léger.

L'ensemble du chariot et de l'écran doit être aussi léger que possible et les frottements doivent être réduits au minimum de sorte que la vitesse de l'écran atteigne rapidement la vitesse moyenne de l'eau.

En fait, il est essentiel que l'introduction de l'écran dans le canal perturbe l'écoulement aussi peu que possible et n'engendre pas de rides ou de vagues susceptibles d'entraîner des erreurs non négligeables. Il peut en être de même, mais à un degré moindre, pour la sortie de l'écran, lorsque la mesure de débit doit s'effectuer au moyen d'un appareil taré en régime permanent.

Le jeu entre les bords de l'écran et les parois doit être très faible, de 2 à 5 mm pour un écran de 1 m² de surface, sans que l'on doive, pour chercher à diminuer le jeu, risquer des frottements sur les parois.

3.3 Mesure de la vitesse de translation de l'écran

La mesure de la vitesse de translation de l'écran peut s'effectuer au moyen de deux repères de longueur installés à l'origine et à l'extrémité du tronçon de mesure et agissant par contact électrique ou par cellule photoélectrique sur l'enclenchement et le déclenchement d'un compte-secondes. Il est toutefois préférable de répartir un certain nombre de repères le long du tronçon de mesure en vue de contrôler l'uniformité du mouvement du chariot. Cela peut être réalisé au moyen de contacts répartis le long des rails de roulement du chariot, reliés en parallèle et enregistrant le passage de l'écran aux différents points du tronçon.

* On peut être amené à étalonner le tronçon de mesure du canal par méthode volumétrique si l'on veut obtenir une grande précision ou si le canal est de forme insuffisamment régulière.

** Dans certains cas on peut être contraint d'utiliser un écran flottant; il y a lieu dans ce cas de prendre grand soin du guidage, de l'équilibrage et des risques de contact avec le fond du canal.

3. Andersson's movable screen

3.1 Basic principle

This method resembles the volumetric method due to the fact that the volume of water displaced in a canal during a set period of time is measured; this volume is limited by the walls of the canal and the initial and final positions of the screen resulting from its travel, that is, points between which the screen has passed at times T_1 and T_2 , the difference $T_2 - T_1$ constituting the "travel time".

If we designate:

L = the length of the baseline between the two measuring points

A = the wetted cross-section of the canal

$t = T_2 - T_1$ the total travel time between the two measuring points

Q = the discharge to be measured

$$Q = \frac{L \times A}{t}$$

It should be noted that the cross-section is often rectangular, and in this case is equal to the product of the water height h and the width l of the measuring canal.

3.2 Installations

The measuring canal shall comprise a straight horizontal section, generally rectangular, and very precisely calibrated over its entire length*: this length shall be sufficient to ensure uniform motion of the screen over the whole section between the two measuring points.

The screen, more often supported by a carriage rolling on rails** installed along the length of the rectangular part of the canal, is often constructed of a light rigid material mounted on a lightly built frame.

The carriage and screen assembly shall be as light as possible and the friction shall be reduced to a minimum such that the screen velocity will rapidly equal the mean velocity.

Actually, it is essential that the introduction of the screen into the measurement channel shall disturb the flow as little as possible and not set up ripples or waves capable of entailing serious errors. This also applies, but to a lesser extent, to the screen exit, when the discharge measurement should be made by means of an apparatus calibrated under steady flow.

The clearance between the side of the screen and the wall of the canal must be very small, from 2 to 5 mm for a screen of 1 m² surface area, without, in trying to diminish the clearance, risking contact with the walls.

3.3 Measurements of the travel velocity of the screen

The measurement of the screen velocity shall be made by means of two fixed points indicating the length of the test section installed at the origin and extremity of the measuring section. These points can be electrical contacts or photo-electric cells operating an electric timer. It is desirable to place a certain number of points along the measuring section in order to check the uniform movement of the carriage. This can be done by means of contacts placed along the carriage rails, connected in parallel in an electric circuit with a recording pen capable of registering, on one band of a chronograph, the position of the screen at different points along the path.

* It is possible to calibrate the measuring reach by a volumetric method if it is necessary to obtain high precision or if the canal is of an irregular shape.

** In certain cases, restrictions call for the use of a floating screen; in such cases care must be taken in the guiding and balancing of the screen as well as to avoid contact with the bottom of the canal.

3.4 Détermination de la section du canal

La section transversale du canal correspondant à une cote donnée du plan d'eau peut être déterminée au moyen d'un tarage géométrique ou volumétrique. La cote du plan d'eau doit être contrôlée au cours de la mesure au moyen de puits de mesure répartis sur les parois du tronçon de mesure.

3.5 Contrôles en cours d'essai

Les dispositions prises pour s'assurer de l'uniformité du mouvement de translation de l'écran dans le tronçon de mesure ont pour but d'égaliser la vitesse de l'eau et celle de l'écran.

Cela peut être vérifié par la mesure de la cote du plan d'eau à l'amont et à l'aval de l'écran au moyen de pointes de mesure installées dans des puits de mesure. On admet que l'écran se déplace bien à la vitesse de l'eau si l'on ne constate aucune différence de niveau appréciable (0,5 mm) entre l'amont et l'aval de l'écran, avant et après le passage de ce dernier.

On a observé en outre, que le fonctionnement correct de l'écran conduisait ordinairement à de légères perturbations à l'amont et à l'aval au fond du canal et à l'amont et à l'aval le long des bajoyers, surtout au voisinage de la surface libre. Cette observation peut éventuellement constituer, avec la quasi-nullité de la variation de hauteur au moment du passage de l'écran, un véritable critère de bon fonctionnement de ce système.

4. Déversoirs

L'emploi des déversoirs est possible dans toutes les installations à plan d'eau libre. Cet appareil s'avère d'une très grande sensibilité et, par suite de la présence d'un plan d'eau libre, d'une bonne stabilité. Il est par contre très sensible à toute anomalie de répartition des vitesses, ainsi qu'à l'état physique du parement amont de la crête du déversoir. Pour ces raisons il est désirable de prévoir dans toutes ces installations la possibilité de procéder au tarage de cet appareil. Toutefois, il peut être admis, pour un déversoir rectangulaire à mince paroi aéré, et sans contraction latérale, d'utiliser les formules S.I.A. et Kindsvater et les normes d'installation correspondantes telles qu'elles sont standardisées par l'ISO. Si la précision donnée par ces normes n'est pas suffisante, un étalonnage doit être effectué.

Tous les autres types de déversoir peuvent seulement être utilisés comme méthode secondaire de mesure comparée à une autre méthode.

5. Appareils déprimogènes

Les appareils déprimogènes tels que venturis, tuyères et diaphragmes sont d'un emploi particulièrement commode dans les installations de petites dimensions ou dans celles fonctionnant en circuit fermé sans plan d'eau libre. La disposition de la tuyauterie doit assurer une alimentation régulière sans rotation jusqu'à l'appareil de mesure dans toute la gamme des débits. Des guideaux, des nids d'abeilles ou des dispositifs analogues doivent être placés à des distances convenables à l'amont de l'appareil de mesure.

Les mesures de débit par orifices et tuyères ont été standardisées par l'ISO/TC 30. Ces règles devront être utilisées chaque fois que cela sera possible si la précision à laquelle elles conduisent peut être considérée comme satisfaisante. Lorsque les conditions d'installation normalisées ne peuvent être remplies ces appareils seront étalonnés dans leurs conditions de mesure.

Plusieurs couples de prises de pression indépendantes doivent être utilisés de façon à détecter facilement toute évidence d'erreurs accidentelles dans la mesure causées par les conditions d'alimentation de l'appareil ou les prises de pression.

6. Autres méthodes

D'autres méthodes peuvent être utilisées, après accord, pourvu qu'elles puissent être étalonnées de façon valable.

3.4 *Determination of the canal cross-section*

The cross-sectional area of the canal corresponding to the water level at the side can be determined by a geometric or volumetric measurement. The level should be checked during the course of measurement by means of measuring wells placed along the walls of the measuring section.

3.5 *Controls during the run*

The precautions taken to ensure uniform velocity of the screen in the measuring section are made in order to equalize the velocity of the water and that of the screen. This can be checked by the measurement of the water level at the front and rear of the screen by means of point gauges installed in measuring wells. It is assumed that the screen is travelling at the water velocity if a negligible level difference is observed (0.5 mm) between the front and rear of the screen.

It has been observed that the proper functioning of the screen led ordinarily to slight disturbances in front and rear on the bottom of the canal and in the front and rear of the walls, especially in the vicinity of the free surface. This observation can possibly constitute, along with the negligible variation of the water height at the moment of the passage of the screen, a valuable criterion on the proper functioning of this system.

4. **Weirs**

The use of weirs is possible for all test laboratories having a free water surface. This device possesses a great sensivity and by means of having a free water surface results in great stability. On the other hand, it is very sensitive to any changes in the distribution of velocity of approach and to the physical state of the upstream face of the weir plate. For these reasons it is desirable to provide in all such installations the means to calibrate this device. Nevertheless, for a rectangular sharp-crested weir aerated and without end contraction, it may be agreed to use the S.I.A. and Kinds-vater formulae and corresponding installations as standardized by ISO. If the accuracy of these standards is not sufficient, a calibration must be made.

All other types of weirs can only be used as a secondary method of measurement against some other method.

5. **Differential meters**

Differential meters, such as Venturi meters, orifices and nozzles, are particularly adapted to small-size installations or those operating on closed circuit without a free water surface. The piping arrangement of the meter shall ensure a smooth, non-rotating flow approach to the meter over the whole range of discharge. Straightening vanes, honeycombs, or similar devices, should be placed at suitable distances upstream of the meter.

Discharge measurement by orifices and nozzles have been standardised by ISO/TC 30. These standards should be used whenever possible if their accuracy is regarded as satisfactory.

When the standard installation conditions cannot be fulfilled, these meters will be calibrated under their measuring conditions.

Several pairs of independent pressure connections should be used in order to detect easily any evidence of accidental error in the measurement due to conditions of the connection to the apparatus or to the pressure connections.

6. **Others methods**

Other methods may be used, by agreement, provided they can be reliably calibrated.

CHAPITRE IX — MÉTHODES DE MESURE DES HAUTEURS

1. Conditions générales

Les mesures de chute sur la turbine ne doivent être effectuées que lorsque l'écoulement est stable (voir les remarques générales du paragraphe IV.1.3). Pour chaque point choisi, cinq lectures au minimum doivent être effectuées à intervalles réguliers; le nombre de lectures dépendant de l'amplitude et de la fréquence des variations (voir article VI.5).

2. Plan d'eau libre

Dans la section choisie pour la mesure de la cote d'un plan d'eau, l'écoulement doit être stable et aussi exempt que possible de dissymétrie ou d'autres anomalies. Pour réaliser ces conditions d'uniformité il peut être nécessaire d'utiliser séparément ou simultanément des radeaux de tranquillisation, des grilles ou des écrans. De tels dispositifs de tranquillisation ne sont acceptables que s'ils ne perturbent pas la section de mesure ni le fonctionnement de la turbine. En vue de permettre la détermination de la hauteur dynamique, l'aire de la section choisie doit pouvoir être parfaitement définie et mesurée aisément. Les mesures de la cote du plan d'eau doivent être obtenues si possible au moins en deux points, un de chaque côté de la section de mesure dont la moyenne des lectures donne la cote exacte du plan d'eau (voir article IX.6 : Dispositif d'amortissement).

Lorsque la surface de l'eau est accessible et suffisamment calme, la cote du plan d'eau aval doit être mesurée dans la section de sortie du tube d'aspiration. Si cela est impossible, on peut utiliser soit une section dans l'aspirateur à l'amont immédiat de la sortie, soit une section à écoulement libre dans le canal de fuite à l'aval de la sortie de l'aspirateur. Le plus grand soin doit être pris dans le calcul de la hauteur totale pour tenir compte de toute récupération de pression à la sortie du tube d'aspiration.

Si la surface libre est inaccessible ou insuffisamment calme, des puits de tranquillisation peuvent être utilisés, de préférence de chaque côté de la section de mesure. Les tubes ou canaux de raccordement doivent être réalisés perpendiculairement aux parois de la section de mesure et doivent déboucher sur la paroi du canal par l'intermédiaire d'une plaque perforée lisse et arasée au nu de la paroi (figure 6). Le diamètre des orifices de la plaque doit être d'environ 3 mm et la surface totale de passage à travers la plaque ainsi que celle de la canalisation ne doit pas être inférieure à 5% de la section transversale du puits de mesure.

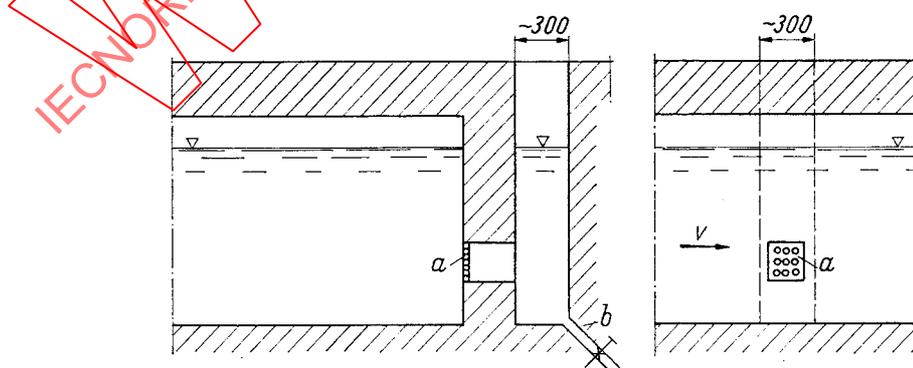


FIG. 6. — Puits de mesure.

- a) Plaque perforée
- b) Robinet de purge

CHAPTER IX — METHODS OF HEAD MEASUREMENT

1. General conditions

Readings of turbine head shall only be taken when conditions are steady (see general remarks in Sub-clause IV.1.3 on limits of steadiness). For each load point, a minimum of five readings shall be taken at uniform intervals; the actual number of readings depending on the magnitude and frequency of variations (see Clause VI.5).

2. Free water level

At the section chosen for measuring free water levels, the flow should be steady and as free as possible from asymmetry and other disturbance. To ensure such uniform conditions, it may be necessary to use separately or together, flow straighteners, baffles and screens. Such smoothing devices are only permissible when they do not disturb the measuring section or the operation of the turbine. In order to make allowance for the kinetic energy head of the water, the section chosen must have a clearly-defined and easily-measured cross-sectional area. Measurements of water level must be obtained where possible from at least two points, one at each side of the measuring section, and the readings averaged to obtain true level. (See Clause IX.6, Damping devices).

Where the water surface is accessible and sufficiently calm, the tailwater level should be determined in the section of the draft tube outlet. If this is impossible, either a closed draft-tube section immediately upstream, or an open section in the tailrace downstream of the draft-tube outlet may be used. Due care should be taken in the computation of the total head to allow for any pressure recovery at outlet from the draft tube.

If the free water surface is not accessible or not sufficiently calm, stilling wells may be provided, preferably one at each side of the measuring section. The connecting channels or tubes must be constructed at right angles to the wall of the measuring section and shall be covered with smooth, perforated plates, flush with the wall (see Figure 6). The size of such perforations shall be about 3 mm bore and their total cross-sectional area, and also that of the interconnecting passage, shall not be less than 5% of the cross-sectional area of the stilling well.

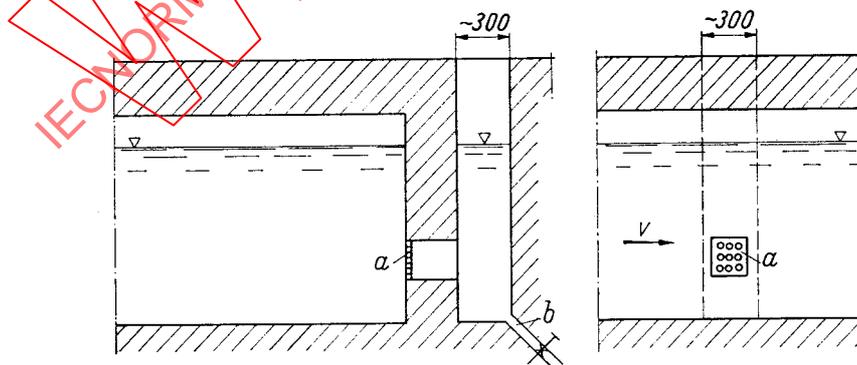


FIG. 6. — Measuring well.

- a) Perforated plate
- b) Flushing valve

3. Appareils pour la mesure des plans d'eau libre

3.1 Pointes droites ou recourbées

Des pointes droites ou recourbées (voir figure 7) peuvent être utilisées pour déterminer la cote d'un plan d'eau calme directement ou dans un puits de mesure. Le contact avec l'eau peut être repéré à vue directe ou au moyen d'indicateurs électriques, optiques, ou d'autre nature, à condition qu'ils puissent être étalonnés par une méthode visuelle directe.

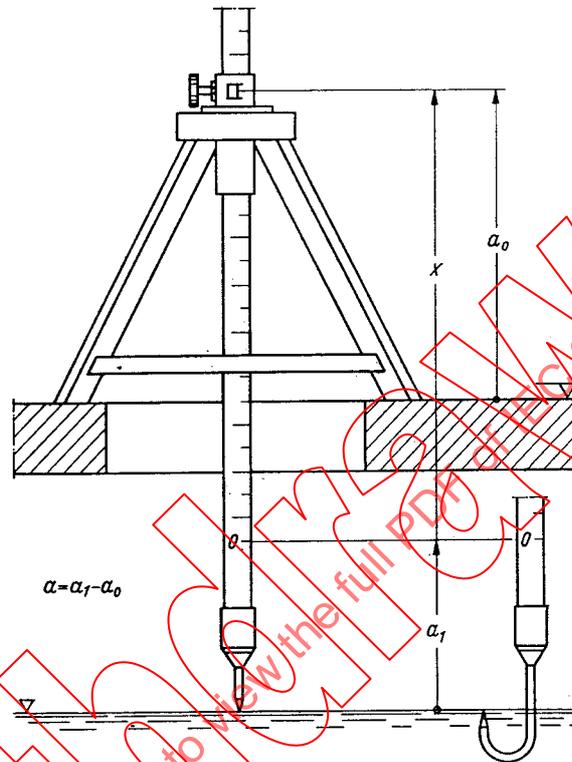


FIG. 7. — Tige de mesure à pointe droite ou recourbée.

A) Repère fixe

3.2 Limnigraphes

Des limnigraphes à flotteurs, convenablement étalonnés et en bon état de fonctionnement, peuvent être utilisés et conviennent bien aux mesures de niveau variable. Le flotteur doit avoir un diamètre minimum de 150 mm et doit retrouver sa position d'équilibre initiale à moins de 1 mm près lorsqu'on le déplace manuellement. La section minimale du puits correspondante est de 200 mm. Des dispositifs d'enregistrement à plumes, optiques ou d'autre nature doivent faire l'objet d'un contrôle de précision et de sensibilité.

3.3 Manomètres à liquides

Une autre alternative utilisable pour mesurer la cote du plan d'eau consiste à effectuer des mesures de hauteur à l'aide d'un manomètre à liquide en tenant compte de la différence entre la prise de pression et le zéro du manomètre. Les mesures doivent être effectuées comme indiqué à l'article IX.4.

4. Mesure de pression statique

En variante de la mesure directe d'une cote de plan d'eau, la pression statique de l'eau en des points appropriés peut être mesurée et les lectures converties en hauteurs. Comme la température de l'eau peut varier considérablement pendant les essais d'un modèle de turbine, il est particulièrement

3. Measuring apparatus for free water level

3.1 Point and hook gauges

Point or hook gauges (see Figure 7) may be used to determine the level of calm water either directly or in stilling wells. In place of the normal visual indication of contact with the water, electrical, optical and other indicators may be used provided they are calibrated against the direct visual method.

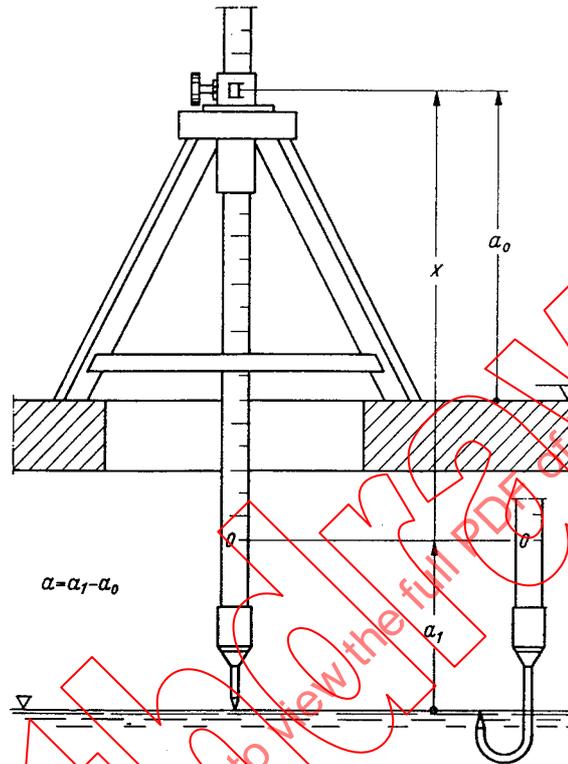


FIG. 7. — Point and hook gauges.

A) Fixed point

3.2 Float gauges

Float gauges, properly calibrated and in good working order, may be used and are convenient where the water level is variable. The float shall be at least 150 mm in diameter and shall return to within 1 mm of the original reading when manually deflected. The corresponding minimum dimension of well shall be 200 mm. Metal tapes, optical and other remote-reading systems must be checked for accuracy and sensitivity.

3.3 Liquid manometer

Alternatively the free water level may be determined from head measurements on a liquid manometer, due allowance being made for differences in height between the pressure tapping and the manometer zero. Measurements should be made as detailed in Clause IX.4.

4. Static pressure measurement

As an alternative to measuring free water level directly, the static pressure of the water at appropriate points can be measured and the reading converted into a head. As the water temperature may vary considerably during tests on a model turbine, it is particularly important to record temperatures

important de noter régulièrement la température et de déterminer les variations résultantes du poids spécifique de l'eau lorsque l'on passe des pressions aux hauteurs par l'intermédiaire de la relation $h = p/\gamma$.

La pression atmosphérique ambiante doit être mesurée au cours des essais au moyen d'un baromètre-étalon à colonne visible de mercure.

4.1 Choix des sections de mesure

Les points suivants doivent guider le choix d'une section de mesure de la pression statique :

- a) L'écoulement doit avoir le minimum de perturbation; il y a lieu d'éviter les sections dans lesquelles la répartition des vitesses est rendue irrégulière par un coude, une vanne ou tout autre singularité amont.
- b) L'écoulement doit être exempt de courbure et de tourbillons susceptibles d'entraîner des erreurs sur la pression statique moyenne.
- c) La section choisie doit posséder une aire transversale facilement mesurable, pour permettre la prise en compte de la hauteur dynamique.

4.2 Nombre et emplacement des prises de pression

Quatre prises de pression statique au moins doivent être installées dans chaque section de mesure, sur deux diamètres perpendiculaires pour les conduites à section circulaire, ou pour les conduites à section rectangulaire suivant une disposition symétrique avec les prises au milieu de chaque paroi. Dans les sections circulaires, les prises ne doivent pas, si possible, être placées aux points hauts ni aux points bas de la section en vue d'éviter les poches d'air ou les dépôts (voir figure 8). Elles doivent être reliées au manomètre au moyen d'un collecteur ou autre dispositif similaire donnant des parcours d'égale résistance hydraulique (figure 9). Comme la cote du point de mesure sera supposée être celle du centre de gravité des prises de pression, ce point doit coïncider avec l'axe de la section de mesure. Si l'écoulement est perturbé ou dissymétrique, il y a lieu d'utiliser plus de quatre prises de pression. Si les pressions mesurées individuellement à chacune des prises diffèrent de leur moyenne arithmétique d'une quantité supérieure à 0,2% de la hauteur de chute, les mesures doivent être déclarées non valables.

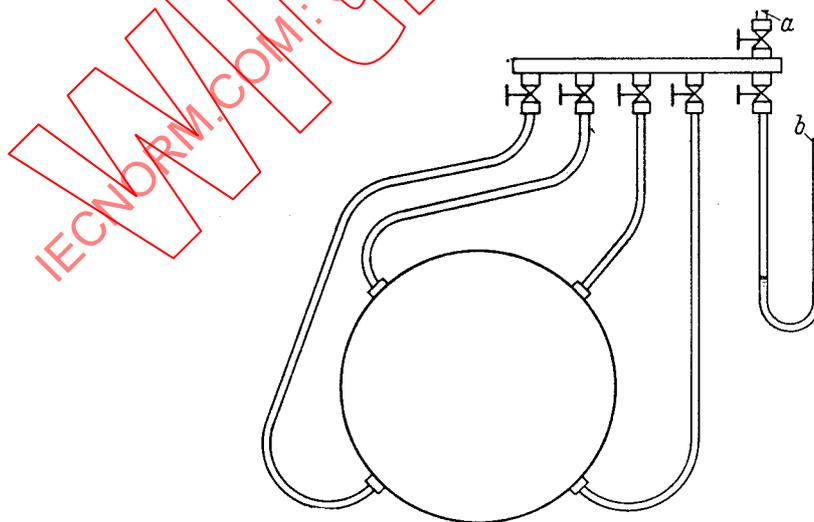


FIG. 8. — Raccordement des prises de pression au manomètre par des tubes séparés.

- a) Purge d'air
- b) Manomètre

regularly and to allow for resulting variations in the specific weight of the water when converting from pressure to head by means of the expression $h = p/\gamma$.

The ambient atmospheric pressure during the tests should be read by means of a standard mercury-in-glass barometer.

4.1 Choice of measuring sections

The following should be considered when selecting a measuring section to obtain static pressure measurements :

- a) There should be a minimum of disturbance in the flow; sections where the velocity pattern is seriously distorted by an elbow, valve or other upstream disturbance should be avoided.
- b) The flow must be free from vortices and rotational effects likely to give errors in mean static pressure.
- c) The section chosen must have an easily measurable cross-sectional area, in order to enable an allowance for the kinetic energy head to be made.

4.2 Number and location of pressure holes

At least four static pressure holes should be installed at each measuring section on two perpendicular diameters in the case of a circular pipe or in a symmetrical arrangement, in a rectangular section, with the holes at the mid-points of the sides. If possible, in the case of a circular section, the holes should not be sited at the highest or lowest points of the section, in order to avoid air pockets and silting, respectively (see Figure 8). They should be connected to a manifold or similar device giving lines of equal hydraulic resistance (see Figure 9). As the level of the measuring point will be assumed to be that of the centre of area of the group, it should coincide with the centre line of the measuring section. If flow conditions are disturbed or asymmetric, more than four holes should be used. If the pressures measured individually at each of the holes differ by more than 0.2% of the turbine head from their arithmetic mean, the measurements shall be deemed invalid.

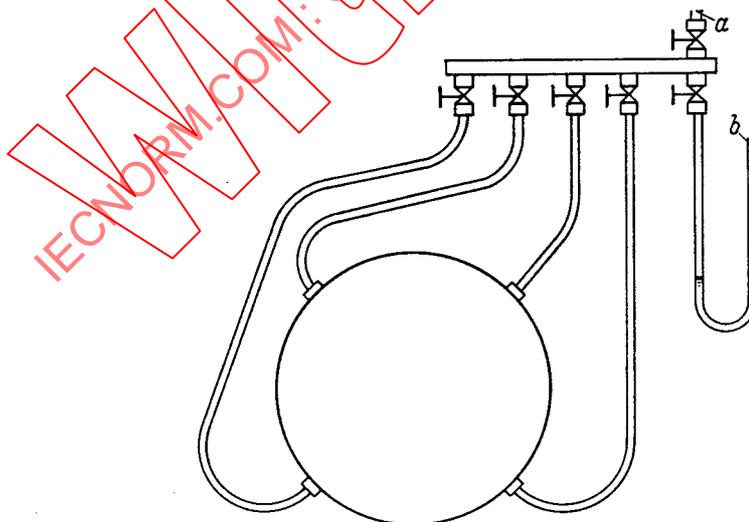


FIG. 8. — Pressureappings connected through separate pipes to manometer.

- a) Purging
- b) Pressure gauge

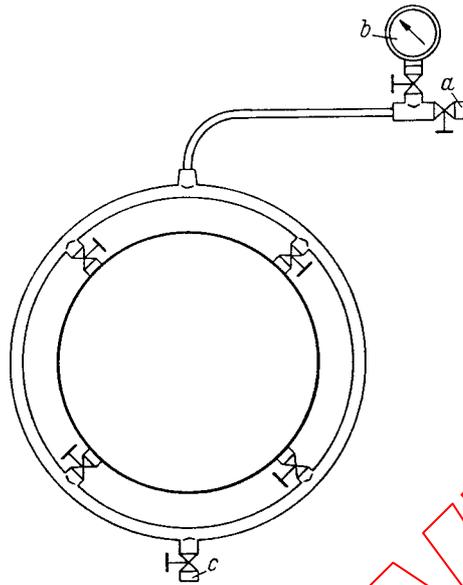


FIG. 9. — Raccordement des prises de pression au manomètre par un collecteur annulaire.

- a) Purge d'air
- b) Manomètre
- c) Purge d'eau

4.3 Prises de pressions statiques

Le trou cylindrique d des prises de pressions statiques doit être perpendiculaire à la paroi de la conduite : son diamètre doit être de 3 à 6 mm (voir figure 10). Il doit avoir une longueur représentant au minimum deux fois le diamètre de l'alésage. Les bords doivent être soigneusement ébavurés et munis d'un arrondi d'un rayon inférieur à $d/4$ (figure 10). La surface de la conduite doit être lisse sur une distance d'au moins 100 mm autour de la prise.

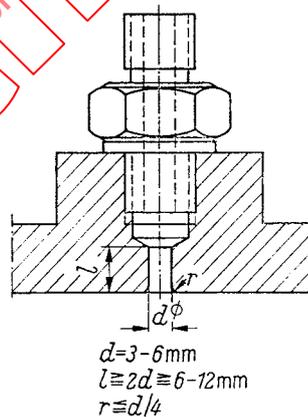


FIG. 10. — Prise de pression.

4.4 Canalisations de raccordement

Pour éviter les poches d'air, les canalisations de raccordement doivent être toujours ascendantes sans boucles. Des canalisations en matière plastique transparente sont recommandables à cet égard, car elles permettent de déceler toute poche d'air. Un circuit et des dispositifs de purge d'air doivent être prévus sur les canalisations et les manomètres partout où cela est nécessaire.

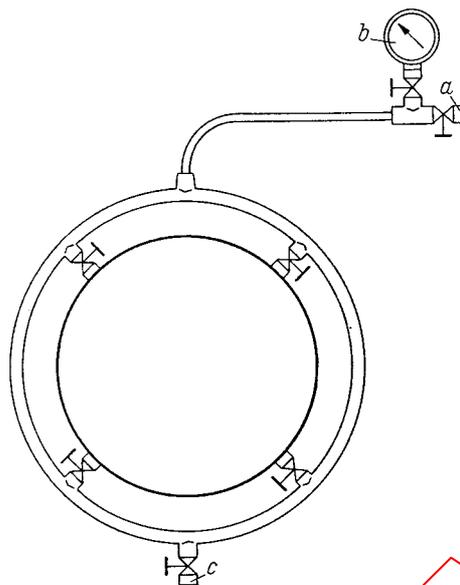


FIG. 9. — Pressure tapplings connected through ring main to pressure gauge.

- a) Purging
- b) Pressure gauge
- c) Drainage

4.3 Static pressure holes

The cylindrical bore d of the static pressure holes should be perpendicular to the wall of the conduit and 3 to 6 mm in diameter (see Figure 10). It should have a minimum length at least twice the bore of the hole. Burrs should be removed and the mouth rounded off with a radius not greater than $d/4$ (see Figure 10). The surface surrounding the pressure tapping should be smooth within at least 100 mm from the hole.

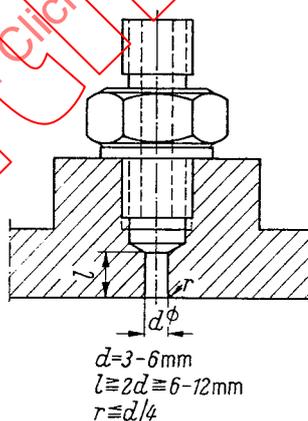


FIG. 10. — Pressure tapping.

4.4 Pressure pipe connections

To avoid trapping air, pipe connections should be continuously rising, without loops or sags. Transparent plastic pipes are useful for this purpose, as air pockets can easily be seen. Air release points and facilities for purging air from the system and from the manometers should be provided wherever necessary.

