



IEC 63461

Edition 1.0 2024-06

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

**Pelton hydraulic turbines – Model acceptance tests**

**Turbines Pelton – Essais de réception sur modèle**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 27.140

ISBN 978-2-8322-9236-5

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.  
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

## CONTENTS

FOREWORD.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references .....	12
3 Terms, definitions, symbols and units .....	12
3.1 General.....	12
3.2 Terms and definitions.....	12
3.3 Units.....	14
3.4 Terms, definitions, symbols and units .....	14
3.4.1 List by topics .....	14
3.4.2 Subscripts and symbols .....	15
3.4.3 Geometry .....	16
3.4.4 Physical quantities and properties .....	17
3.4.5 Discharge, velocity and speed .....	18
3.4.6 Pressure.....	18
3.4.7 Specific energy.....	19
3.4.8 Height and head .....	19
3.4.9 Power and torque .....	20
3.4.10 Efficiency.....	22
3.4.11 Fluctuating quantities .....	22
3.4.12 Fluid dynamics and scaling.....	25
3.4.13 Dimensionless terms and definitions .....	25
3.4.14 Additional performance data .....	26
4 Physical properties .....	26
4.1 General.....	26
4.2 Acceleration due to gravity.....	26
4.3 Physical properties of water .....	27
4.3.1 Density of water.....	27
4.3.2 Kinematic viscosity .....	30
4.3.3 Vapour pressure .....	30
4.4 Physical conditions of atmosphere .....	31
4.4.1 Density of dry air .....	31
4.4.2 Ambient pressure .....	31
4.5 Density of mercury.....	31
5 Requirements of tests.....	32
5.1 Requirement of test installation and model.....	32
5.1.1 Choice of laboratory .....	32
5.1.2 Test installation .....	32
5.1.3 Model requirements .....	33
5.2 Dimensional check of model and prototype .....	35
5.2.1 General .....	35
5.2.2 Explanation of terms used for model and prototype.....	36
5.2.3 Purpose of dimensional checks.....	36
5.2.4 General rules.....	36
5.2.5 Procedure.....	37
5.2.6 Methods .....	38
5.2.7 Accuracy of measurements.....	41
5.2.8 Dimensions of model and prototype to be checked .....	41

5.2.9	Permissible maximum deviations in geometrical similarity between prototype and model .....	43
5.2.10	Surface waviness and roughness .....	44
5.3	Test procedures .....	46
5.3.1	Organization of tests .....	46
5.3.2	Inspections and calibrations .....	48
5.3.3	Execution of tests .....	50
5.3.4	Faults and repetition of tests .....	54
5.3.5	Preliminary test report .....	55
5.3.6	Final test report .....	55
6	Data acquisition .....	55
6.1	Data acquisition and data processing .....	55
6.1.1	General .....	55
6.1.2	General requirements .....	56
6.1.3	Data acquisition .....	56
6.1.4	Component requirements .....	58
6.1.5	Check of the data acquisition system .....	61
6.2	Data acquisition and processing for measurement of fluctuating quantities .....	63
6.2.1	General .....	63
6.2.2	Data acquisition .....	64
6.2.3	Data processing .....	66
6.3	Error analysis .....	67
6.3.1	Definitions .....	67
6.3.2	Determination of uncertainties in model tests .....	69
7	Methods of measurement .....	74
7.1	Discharge measurement .....	74
7.1.1	General .....	74
7.1.2	Choice of the method of measurement .....	75
7.1.3	Accuracy of measurement .....	75
7.1.4	Primary methods .....	76
7.1.5	Secondary methods .....	77
7.2	Pressure measurement .....	80
7.2.1	General .....	80
7.2.2	Choice of pressure-measuring section .....	80
7.2.3	Pressure taps and connecting lines .....	81
7.2.4	Apparatus for pressure measurement .....	84
7.2.5	Calibration of pressure measurement apparatus .....	90
7.2.6	Vacuum measurements .....	91
7.2.7	Uncertainty in pressure measurements .....	91
7.3	Free water level measurement (see also ISO 4373) .....	91
7.3.1	General .....	91
7.3.2	Choice of water level measuring sections .....	92
7.3.3	Number of measuring points in a measuring section .....	92
7.3.4	Measuring methods .....	92
7.3.5	Uncertainty in free water level measurement .....	93
7.4	Shaft torque measurement .....	94
7.4.1	General .....	94
7.4.2	Methods of torque measurement .....	94
7.4.3	Methods of absorbing/generating power .....	95

7.4.4	Layout of arrangement.....	95
7.4.5	Checking of system .....	99
7.4.6	Calibration .....	100
7.4.7	Uncertainty in torque measurement (at a confidence level of 95 %) .....	100
7.5	Rotational speed measurement.....	102
7.5.1	General .....	102
7.5.2	Methods of speed measurement .....	102
7.5.3	Checking .....	102
7.5.4	Uncertainty of measurement .....	102
8	Test execution and results.....	102
8.1	General.....	102
8.2	Determination of $E$ .....	103
8.2.1	General .....	103
8.2.2	Determination of the specific hydraulic energy $E$ .....	103
8.2.3	Simplified formulae for $E$ .....	106
8.3	Determination of power and efficiency .....	108
8.3.1	Hydraulic power.....	108
8.3.2	Mechanical power.....	109
8.3.3	Hydraulic efficiency .....	109
8.4	Hydraulic similitude.....	110
8.4.1	Theoretical basic requirements and similitude numbers .....	110
8.4.2	Conditions for hydraulic similitude as used in this document.....	110
8.4.3	Similitude requirements for various types of model tests.....	111
8.4.4	Reynolds similitude.....	111
8.4.5	Froude similitude .....	111
8.4.6	Other similitude conditions - Weber number.....	111
8.5	Test conditions .....	112
8.5.1	Determination of test conditions.....	112
8.5.2	Minimum values for model size and test conditions to be fulfilled.....	112
8.5.3	Stability and fluctuations during measurements .....	113
8.5.4	Adjustment of the operating point .....	113
8.6	Computation and presentation of test results .....	113
8.6.1	General .....	113
8.6.2	Power, discharge and efficiency in the guarantee range .....	114
8.6.3	Computation of steady-state runaway speed and discharge.....	118
9	Nature and extent of guarantees related to hydraulic performance .....	119
9.1	General.....	119
9.1.1	Design data and coordination .....	119
9.1.2	Definition of the hydraulic performance guarantees .....	120
9.1.3	Guarantees of correlated quantities .....	120
9.1.4	Form of guarantees .....	120
9.2	Main hydraulic performance guarantees verifiable by model test.....	121
9.2.1	Guaranteed quantities for any machine.....	121
9.2.2	Specific application.....	121
9.3	Guarantees not verifiable by model test .....	121
9.3.1	Guarantees on cavitation erosion .....	121
9.3.2	Guarantees on maximum momentary overspeed and maximum momentary pressure rise .....	121
9.3.3	Guarantees covering noise and vibration .....	122

9.3.4	Measurements not covered by this document .....	122
9.4	Comparison with guarantees .....	122
9.4.1	General .....	122
9.4.2	Interpolation curve and total uncertainty bandwidth .....	122
9.4.3	Power, discharge and/or specific hydraulic energy and efficiency in the guarantee range .....	123
9.4.4	Prototype mechanical losses .....	124
9.4.5	Runaway speed and discharge .....	124
9.4.6	Penalty and premium .....	125
10	Additional performance data – Methods of measurement and results .....	125
10.1	Additional data measurement .....	125
10.1.1	General .....	125
10.1.2	Test conditions and test procedures .....	126
10.1.3	Uncertainty in measurements .....	126
10.1.4	Model to prototype conversion .....	127
10.2	Hydraulic loads on control components .....	127
10.2.1	General .....	127
10.2.2	Pelton needle force and deflector torque .....	128
10.3	Influence of tail water level .....	131
10.4	Testing in an extended operating range .....	131
10.4.1	General .....	131
10.4.2	Scope of tests .....	131
10.4.3	Methods of testing in the extended operating range .....	132
10.5	Differential pressure measurement in view of prototype index test .....	133
10.5.1	General .....	133
10.5.2	Purpose of test .....	133
10.5.3	Execution of test .....	133
10.5.4	Analysis of test results .....	134
10.5.5	Transposition to prototype conditions .....	135
10.5.6	Uncertainty .....	135
10.6	Nozzle flow discharge calibration in view of prototype index test .....	135
Annex A (informative)	Dimensionless terms .....	136
Annex B (normative)	Physical properties, data .....	138
Annex C (informative)	Summarized test and calculation procedure .....	146
C.1	General .....	146
C.2	Agreements to be reached prior to testing .....	146
C.3	Model, test facility and instrumentation .....	147
C.3.1	Model manufacture and dimensional checks .....	147
C.3.2	Test facility instrumentation and data acquisition system .....	147
C.4	Tests and calculation of the model values .....	147
C.4.1	Test types .....	147
C.4.2	Measurement of the main quantities during the test .....	147
C.4.3	Uncertainty of the measured quantities .....	148
C.4.4	Calculation of the quantities related to the main hydraulic performance .....	148
C.4.5	Calculation of the dimensionless factors or coefficients and of the Thoma number .....	148
C.5	Calculation of prototype quantities .....	148
C.6	Plotting of model or prototype results .....	149
C.7	Comparison with the guarantees .....	149

C.8	Final protocol.....	149
C.9	Final test report .....	149
Annex D (normative) Computation of the prototype runaway characteristics taking into account friction and windage losses of the unit .....		150
Annex E (informative) Example of determination of the best smooth curve: method of separate segments .....		151
E.1	General.....	151
E.2	Principle of the method .....	151
E.3	Choice of the minimum width of the intervals .....	153
E.4	Determination of the intervals .....	153
Annex F (informative) Examples of analysis of sources of error and uncertainty evaluation.....		154
F.1	General.....	154
F.2	Example of analysis of sources of error and of uncertainty evaluation in the measurement of a physical quantity .....	154
F.2.1	General .....	154
F.2.2	Errors arising during calibration .....	155
F.2.3	Errors arising during the tests.....	156
F.3	Example of calculation of uncertainty due to systematic errors in the determination of the specific hydraulic energy, mechanical runner power and hydraulic efficiency .....	157
F.3.1	General .....	157
F.3.2	Discharge .....	157
F.3.3	Pressure.....	157
F.3.4	Specific hydraulic energy.....	157
F.3.5	Power.....	158
F.3.6	Hydraulic efficiency .....	159
Annex G (normative) The scale effect on hydraulic efficiency for Pelton turbines .....		160
G.1	General.....	160
G.2	Similarity considerations .....	160
G.3	Transposition formula .....	162
Annex H (normative) Analysis of random errors for a test at constant operating conditions .....		163
H.1	General.....	163
H.2	Standard deviation.....	163
H.3	Confidence levels .....	164
H.4	Student's $t$ distribution .....	164
H.5	Maximum permissible value of uncertainty due to random errors.....	165
H.6	Example of calculation .....	166
Annex I (informative) Flux diagram of specific hydraulic energy and power .....		167
Bibliography.....		169
Figure 1 – Schematic representation of a Pelton machine.....		16
Figure 2 – Reference diameter and bucket width .....		17
Figure 3 – Reference level of a Pelton machine .....		19
Figure 4 – Flux diagram for power .....		21
Figure 5 – Illustration of some definitions related to oscillating quantities.....		24
Figure 6 – Acceleration due to gravity $g$ ( $m \cdot s^{-2}$ ) .....		27

Figure 7 – Density of distilled water $\rho_{Wd}$ ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) .....	30
Figure 8 – Example for homology limits for wetted parts of a vertical Pelton turbine.....	34
Figure 9 – Example for homology limit for wetted parts of a horizontal Pelton turbine .....	34
Figure 10 – Procedure for dimensional checks, comparison of results "steel to steel" and application of tolerances for model and prototype .....	37
Figure 11 – Pelton turbine: example of dimensions to be checked on the distributor and the housing of vertical and horizontal shaft machines .....	39
Figure 12 – Pelton turbine: example of dimensions to be checked on the buckets and nozzles .....	40
Figure 13 – Definition of waviness and surface roughness .....	45
Figure 14 – Time multiplexing data acquisition system.....	57
Figure 15 – Bus operated data acquisition system .....	57
Figure 16 – Time delay .....	59
Figure 17 – Typical low-pass filter attenuation characteristics .....	59
Figure 18 – Different measurement chains and their recommended checkpoints.....	62
Figure 19 – Typical data acquisition system.....	64
Figure 20 – Frequency response of analogue anti-aliasing filter .....	65
Figure 21 – Example of calibration curve .....	70
Figure 22 – Examples of pressure taps .....	82
Figure 23 – Types of pressure manifolds .....	83
Figure 24 – Dead weight manometer with compensation by pressure or force transducer (example of experimental set-up) .....	88
Figure 25 – Pressure weighbeam (example of experimental set-up).....	89
Figure 26 – Stilling well.....	92
Figure 27 – Point and hook gauges.....	93
Figure 28 – Balance arrangement .....	96
Figure 29 – Balance arrangement with two separate frames .....	97
Figure 30 – Arrangement with machine bearings and seals not in balance .....	97
Figure 31 – Arrangement using a torquemeter .....	98
Figure 32 – Arrangement using a torquemeter with machine bearings and seals in balance.....	98
Figure 33 – Arrangement using a torquemeter with machine bearings and seals not in balance.....	99
Figure 34 – Example showing main elevations, heights and reference levels of the test rig and model machine.....	105
Figure 35 – Pelton turbines with horizontal axis: determination of specific hydraulic energy of the machine .....	108
Figure 36 – Pelton model turbine: performance hill diagram (example for a six-nozzle machine).....	114
Figure 37 – Three-dimensional surface of hydraulic efficiency and curves of performance at $E_{nD}$ constant.....	116
Figure 38 – Runaway curves for a six-nozzle Pelton turbine .....	118
Figure 39 – Runaway speed determined by extrapolation .....	118
Figure 40 – Measured hydraulic efficiency compared to guarantee point.....	123
Figure 41 – Comparison between guarantees and measurements.....	124

Figure 42 – Pelton turbine runaway speed and discharge curves: comparison between guarantees and measurements .....	125
Figure 43 – Pelton needle force factor as a function of relative needle stroke .....	130
Figure 44 – Example of pressure tap location for index test .....	134
Figure 45 – Example of graphical representation of index test data.....	134
Figure D.1 – Determination of the maximum runaway speed of the prototype taking into account the friction and windage losses of the unit .....	150
Figure E.1 – Principle of the method of separate segments.....	152
Figure E.2 – Example of determination of intervals .....	152
Figure G.1 – Influence of Froude number.....	161
Figure G.2 – Influence of Weber number.....	162
Figure G.3 – Influence of Reynolds number .....	162
Figure I.1 – Turbine .....	167
Table 1 – Coefficients of the Herbst and Roeger formula .....	29
Table 2 – Permissible maximum deviations.....	43
Table 3 – Maximum recommended prototype surface roughness $Ra$ .....	46
Table 4 – Summary of errors that determine total measurement uncertainty .....	71
Table 5 – Examples of experimental setup of liquid column manometers .....	85
Table 6 – Nomenclature for Figure 28 to Figure 33 .....	96
Table 7 – Similitude numbers.....	110
Table 8 – Similitude requirements for various types of model tests .....	111
Table 9 – Minimum values for model size and test parameters.....	113
Table 10 – Variables defining the operating point of a machine.....	114
Table A.1 – Dimensionless terms.....	137
Table B.1 – Acceleration due to gravity $g$ ( $m \cdot s^{-2}$ ) .....	138
Table B.2 – Density of distilled water $\rho_{Wd}$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ).....	139
Table B.3 – Kinematic viscosity of distilled water $\nu$ ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ).....	141
Table B.4 – Vapour pressure of distilled water $p_{Va}$ (Pa) .....	142
Table B.5 – Density of dry air $\rho_a$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ).....	143
Table B.6 – Ambient pressure $p_{amb}$ (Pa).....	144
Table B.7 – Density of mercury $\rho_{Hg}$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ).....	145
Table G.1 – Numerical data for surface tension $\sigma^*$ .....	161
Table H.1 – Confidence levels .....	164
Table H.2 – Values of Student's $t$ .....	165
Table H.3 – Computation of the estimated standard deviation and the uncertainty for eight observations .....	166



## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**PELTON HYDRAULIC TURBINES –  
MODEL ACCEPTANCE TESTS****FOREWORD**

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as “IEC Publication(s)”). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) IEC draws attention to the possibility that the implementation of this document may involve the use of (a) patent(s). IEC takes no position concerning the evidence, validity or applicability of any claimed patent rights in respect thereof. As of the date of publication of this document, IEC had not received notice of (a) patent(s), which may be required to implement this document. However, implementers are cautioned that this may not represent the latest information, which may be obtained from the patent database available at <https://patents.iec.ch>. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 63461 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines. It is an International Standard.

This first edition of IEC 63461 cancels and replaces the third edition of IEC 60193 published in 2019. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) the Pelton-specific requirements are being removed;
- b) the new standard is published as a stand-alone publication.

The text of this International Standard is based on the following documents:

Draft	Report on voting
4/460/CDV	4/483/RVC

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this International Standard is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). The main document types developed by IEC are described in greater detail at [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn, or
- revised.

## PELTON HYDRAULIC TURBINES – MODEL ACCEPTANCE TESTS

### 1 Scope

This document applies to laboratory model tests of any type of Pelton hydraulic turbine.

This document applies to models of prototype machines with unit power greater than 5 MW. Full application of the procedures herein described is not generally justified for machines with smaller power. Nevertheless, this document can be used for such machines by agreement between the purchaser and the supplier.

This document excludes all matters of purely commercial interest, except those inextricably bound up with the conduct of the tests.

This document is concerned with neither the structural details of the machines nor the mechanical properties of their components, so long as these do not affect model performance or the relationship between model and prototype performances.

This document covers the arrangements for model acceptance tests to be performed on Pelton turbines to determine if the main hydraulic performance contract guarantees (see 9.2) have been satisfied.

It contains the rules governing test conduct and provides measures to be taken if any phase of the tests is disputed.

The main objectives of this document are:

- to define the terms and quantities used;
- to specify methods of testing and of measuring the quantities involved, in order to ascertain the hydraulic performance of the model;
- to specify the methods of computation of results and of comparison with guarantees;
- to determine if the contract guarantees that fall within the scope of this document have been fulfilled;
- to define the extent, content and structure of the final report.

The guarantees can be given in one of the following ways:

- guarantees for prototype hydraulic performance, computed from model test results considering scale effects;
- guarantees for model hydraulic performance.

Moreover, additional performance data (see Clause 10) can be needed for the design or the operation of the prototype of the hydraulic machine. Contrary to the requirements of Clause 8 related to main hydraulic performance, the information of these additional data given in Clause 10 is considered only as recommendation or guidance to the user (see 10.1).

Model acceptance tests are performed if the expected field conditions for acceptance tests (see IEC 60041:1991) would not allow the verification of guarantees given for the prototype machine.

It is important that the method for performance conversion from model to prototype be clearly defined in the main hydraulic performance contract.

This document can also be applied to model tests for other purposes, i.e. comparative tests and research and development work.

If model acceptance tests have been performed, field tests can be limited to index tests (see IEC 60041:1991).

If a contradiction is found between this document and any other document, this document prevails.

## **2 Normative references**

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 2186:2007, *Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements*

ISO 2533:1975, *Standard atmosphere*

ISO 4185:1980, *Measurement of liquid flow in closed conduits – Weighing method*

ISO 8316:1987, *Measurement of liquid flow in closed conduits – Method by collection of the liquid in a volumetric tank*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	179
1 Domaine d'application .....	181
2 Références normatives .....	182
3 Termes, définitions, symboles et unités .....	182
3.1 Généralités .....	182
3.2 Termes et définitions .....	182
3.3 Unités .....	184
3.4 Termes, définitions, symboles et unités .....	185
3.4.1 Liste par thème.....	185
3.4.2 Indices et symboles .....	186
3.4.3 Configurations .....	187
3.4.4 Grandeurs et propriétés physiques .....	189
3.4.5 Débit, vitesse d'écoulement et vitesse de rotation.....	190
3.4.6 Pression .....	191
3.4.7 Énergie massique .....	191
3.4.8 Hauteur géométrique et hauteur de charge .....	191
3.4.9 Puissance et couple .....	192
3.4.10 Rendement.....	194
3.4.11 Grandeurs fluctuantes .....	194
3.4.12 Dynamique des fluides et mise à l'échelle.....	197
3.4.13 Termes et définitions adimensionnels .....	197
3.4.14 Données de performance supplémentaires .....	198
4 Propriétés physiques .....	198
4.1 Généralités .....	198
4.2 Accélération due à la pesanteur .....	198
4.3 Propriétés physiques de l'eau .....	199
4.3.1 Masse volumique de l'eau .....	199
4.3.2 Viscosité cinématique .....	202
4.3.3 Pression de vapeur.....	203
4.4 Conditions physiques de l'atmosphère .....	203
4.4.1 Masse volumique de l'air sec.....	203
4.4.2 Pression ambiante .....	203
4.5 Masse volumique du mercure.....	203
5 Exigences d'essai.....	204
5.1 Exigences relatives à l'installation d'essai et au modèle d'essai.....	204
5.1.1 Choix du laboratoire .....	204
5.1.2 Exigences relatives à l'installation d'essai .....	204
5.1.3 Exigences relatives au modèle d'essai.....	205
5.2 Contrôle dimensionnel du modèle et du prototype .....	208
5.2.1 Généralités .....	208
5.2.2 Explication des termes utilisés pour le modèle et le prototype .....	208
5.2.3 Objectif des contrôles dimensionnels.....	209
5.2.4 Règles générales.....	209
5.2.5 Procédure.....	209
5.2.6 Méthodes .....	211
5.2.7 Exactitude des mesurages.....	214
5.2.8 Dimensions du modèle et du prototype à vérifier.....	215

5.2.9	Écart maximaux admissibles de la similitude géométrique entre le prototype et le modèle .....	216
5.2.10	Ondulation et rugosité de surface .....	217
5.3	Procédures d'essai .....	220
5.3.1	Organisation des essais .....	220
5.3.2	Inspections et étalonnages .....	222
5.3.3	Exécution des essais .....	224
5.3.4	Défauts et répétition des essais .....	228
5.3.5	Rapport d'essai préliminaire .....	229
5.3.6	Rapport d'essai final .....	229
6	Acquisition des données .....	230
6.1	Acquisition et traitement des données .....	230
6.1.1	Généralités .....	230
6.1.2	Exigences générales .....	231
6.1.3	Acquisition des données .....	231
6.1.4	Exigences relatives aux composants .....	233
6.1.5	Contrôle du système d'acquisition de données .....	236
6.2	Acquisition et traitement des données pour le mesurage des grandeurs fluctuantes .....	238
6.2.1	Généralités .....	238
6.2.2	Acquisition des données .....	239
6.2.3	Traitement des données .....	242
6.3	Analyse des erreurs .....	242
6.3.1	Définitions .....	242
6.3.2	Détermination des incertitudes dans les essais sur modèle .....	244
7	Méthodes de mesure .....	249
7.1	Mesurage du débit .....	249
7.1.1	Généralités .....	249
7.1.2	Choix de la méthode de mesure .....	250
7.1.3	Exactitude des mesurages .....	250
7.1.4	Méthodes primaires .....	251
7.1.5	Méthodes secondaires .....	252
7.2	Mesurage de la pression .....	255
7.2.1	Généralités .....	255
7.2.2	Choix de la section de mesure de la pression .....	256
7.2.3	Prises de pression et conduites de raccordement .....	256
7.2.4	Appareils de mesure de la pression .....	259
7.2.5	Étalonnage de l'appareillage de mesure de la pression .....	266
7.2.6	Mesurages de vide .....	267
7.2.7	Incertaince de mesure de la pression .....	267
7.3	Mesurage du niveau d'eau libre (voir aussi l'ISO 4373) .....	268
7.3.1	Généralités .....	268
7.3.2	Choix des sections de mesure du niveau d'eau .....	268
7.3.3	Nombre de points de mesure dans une section de mesure .....	268
7.3.4	Méthodes de mesure .....	268
7.3.5	Incertaince de mesure du niveau d'eau libre .....	270
7.4	Mesurage du couple de l'arbre .....	270
7.4.1	Généralités .....	270
7.4.2	Méthodes de mesure du couple .....	271

7.4.3	Méthodes d'absorption/génération de puissance.....	271
7.4.4	Disposition du montage .....	272
7.4.5	Vérification du système.....	276
7.4.6	Étalonnage .....	276
7.4.7	Incertitude de mesure du couple (avec un niveau de confiance de 95 %).....	277
7.5	Mesurage de la vitesse de rotation.....	278
7.5.1	Généralités .....	278
7.5.2	Méthodes de mesure de la vitesse.....	278
7.5.3	Vérification .....	278
7.5.4	Incertitude de mesure .....	279
8	Exécution des essais et résultats.....	279
8.1	Généralités .....	279
8.2	Détermination de $E$ .....	279
8.2.1	Généralités .....	279
8.2.2	Détermination de l'énergie hydraulique massique $E$ .....	280
8.2.3	Formules simplifiées pour $E$ .....	283
8.3	Détermination de la puissance et du rendement.....	285
8.3.1	Puissance hydraulique.....	285
8.3.2	Puissance mécanique.....	285
8.3.3	Rendement hydraulique .....	285
8.4	Similitude hydraulique.....	286
8.4.1	Exigences théoriques de base et nombres de similitude .....	286
8.4.2	Conditions de similitude hydraulique utilisées dans le présent document .....	287
8.4.3	Exigences de similitude pour les différents types d'essais sur modèle .....	287
8.4.4	Similitude de Reynolds .....	288
8.4.5	Similitude de Froude.....	288
8.4.6	Autres conditions de similitude - Nombre de Weber .....	288
8.5	Conditions d'essai.....	288
8.5.1	Détermination des conditions d'essai.....	288
8.5.2	Valeurs minimales pour la taille du modèle et les conditions d'essai à satisfaire .....	289
8.5.3	Stabilité et fluctuations pendant les mesurages .....	290
8.5.4	Ajustement du point de fonctionnement .....	290
8.6	Calcul et présentation des résultats d'essai .....	290
8.6.1	Généralités.....	290
8.6.2	Puissance, débit et rendement dans la plage de garantie .....	291
8.6.3	Calcul de la vitesse et du débit d'emballement stabilisé.....	295
9	Nature et étendue des garanties de performances hydrauliques .....	297
9.1	Généralités .....	297
9.1.1	Données de conception et coordination .....	297
9.1.2	Définition des garanties de performances hydrauliques .....	297
9.1.3	Garanties des grandeurs corrélées .....	298
9.1.4	Forme des garanties.....	298
9.2	Principales garanties de performance hydraulique vérifiables par essai sur modèle.....	298
9.2.1	Grandeurs garanties pour une machine .....	298
9.2.2	Application spécifique.....	299
9.3	Garanties non vérifiables par essai sur modèle.....	299
9.3.1	Garanties relatives à l'érosion de cavitation.....	299

9.3.2	Garanties relatives à la survitesse instantanée maximale et à l'augmentation instantanée maximale de la pression .....	299
9.3.3	Garanties concernant le bruit et les vibrations .....	299
9.3.4	Mesurages non couverts par la présente norme .....	299
9.4	Comparaison avec les garanties .....	299
9.4.1	Généralités .....	299
9.4.2	Courbe d'interpolation et largeur de bande d'incertitude totale .....	300
9.4.3	Puissance, débit et/ou énergie hydraulique massique et rendement dans la plage de garantie .....	301
9.4.4	Pertes mécaniques du prototype .....	302
9.4.5	Vitesse et débit d'emballement .....	302
9.4.6	Pénalité et prime .....	302
10	Données de performance supplémentaires – Méthodes de mesure et résultats .....	303
10.1	Mesurage des données supplémentaires .....	303
10.1.1	Généralités .....	303
10.1.2	Conditions et procédures d'essai .....	304
10.1.3	Incertitude de mesure .....	304
10.1.4	Conversion du modèle en prototype .....	304
10.2	Charges hydrauliques sur les organes de commande .....	305
10.2.1	Généralités .....	305
10.2.2	Force du pointeau et couple du déflecteur Pelton .....	306
10.3	Influence du niveau aval .....	309
10.4	Essais dans une plage de fonctionnement étendue .....	309
10.4.1	Généralités .....	309
10.4.2	Domaine d'application des essais .....	310
10.4.3	Méthodes d'essai dans la plage de fonctionnement étendue .....	310
10.5	Mesurage de la pression différentielle pour l'essai indiciel sur le prototype .....	311
10.5.1	Généralités .....	311
10.5.2	Objectif de l'essai .....	311
10.5.3	Exécution de l'essai .....	312
10.5.4	Analyse des résultats d'essai .....	312
10.5.5	Transposition aux conditions du prototype .....	313
10.5.6	Incertitude .....	313
10.6	Étalonnage du débit de l'injecteur pour l'essai indiciel sur le prototype .....	314
	Annexe A (informative) Termes adimensionnels .....	315
	Annexe B (normative) Propriétés physiques, données .....	317
	Annexe C (informative) Résumé de la procédure d'essai et de calcul .....	325
C.1	Généralités .....	325
C.2	Accords à conclure avant les essais .....	325
C.3	Modèle, installation d'essai et instrumentation .....	326
C.3.1	Fabrication du modèle et contrôles dimensionnels .....	326
C.3.2	Instrumentation de l'installation d'essai et système d'acquisition de données .....	326
C.4	Essais et calcul des valeurs du modèle .....	326
C.4.1	Types d'essais .....	326
C.4.2	Mesurage des principales grandeurs pendant l'essai .....	326
C.4.3	Incertitude des grandeurs mesurées .....	327
C.4.4	Calcul des grandeurs liées aux performances hydrauliques principales .....	327



C.4.5	Calcul des facteurs ou coefficients adimensionnels et du nombre de Thoma .....	327
C.5	Calcul des grandeurs du prototype.....	327
C.6	Représentation graphique des résultats du modèle ou du prototype.....	328
C.7	Comparaison avec les garanties .....	328
C.8	Protocole final.....	328
C.9	Rapport d'essai final .....	328
Annexe D (normative) Calcul des caractéristiques d'emballage du prototype en tenant compte des pertes par frottement et par ventilation de l'appareil .....		329
Annexe E (informative) Exemple de détermination de la meilleure courbe lisse: méthode des segments distincts .....		330
E.1	Généralités .....	330
E.2	Principe de la méthode .....	330
E.3	Choix de la largeur minimale des intervalles .....	332
E.4	Détermination des intervalles.....	332
Annexe F (informative) Exemples d'analyse des sources d'erreur et d'évaluation de l'incertitude .....		333
F.1	Généralités .....	333
F.2	Exemple d'analyse des sources d'erreur et d'évaluation de l'incertitude dans le mesurage d'une grandeur physique.....	333
F.2.1	Généralités.....	333
F.2.2	Erreurs survenant lors de l'étalonnage.....	334
F.2.3	Erreurs survenant au cours des essais .....	335
F.3	Exemple de calcul de l'incertitude due aux erreurs systématiques dans la détermination de l'énergie hydraulique massique, de la puissance mécanique de la roue et du rendement hydraulique .....	336
F.3.1	Généralités.....	336
F.3.2	Débit .....	336
F.3.3	Pression .....	336
F.3.4	Énergie hydraulique massique.....	336
F.3.5	Puissance.....	337
F.3.6	Rendement hydraulique.....	338
Annexe G (normative) Effet d'échelle sur le rendement hydraulique des turbines Pelton .....		339
G.1	Généralités .....	339
G.2	Considérations relatives à la similitude .....	339
G.3	Formule de transposition.....	341
Annexe H (normative) Analyse des erreurs aléatoires lors d'un essai dans des conditions de fonctionnement constantes .....		342
H.1	Généralités .....	342
H.2	Écart-type .....	342
H.3	Niveaux de confiance.....	343
H.4	Loi de $t$ de Student.....	343
H.5	Valeur maximale admissible de l'incertitude due aux erreurs aléatoires .....	344
H.6	Exemple de calcul.....	345
Annexe I (informative) Bilan schématique de l'énergie hydraulique massique et de la puissance .....		346
Bibliographie.....		348
Figure 1 – Représentation schématique d'une machine Pelton.....		187

Figure 2 – Diamètre de référence et largeur de l'auget .....	188
Figure 3 – Niveau de référence d'une machine Pelton .....	192
Figure 4 – Bilan schématique des puissances .....	193
Figure 5 – Représentation de quelques définitions relatives aux grandeurs oscillantes .....	196
Figure 6 – Accélération due à la pesanteur $g$ ( $m \cdot s^{-2}$ ) .....	199
Figure 7 – Masse volumique de l'eau distillée $\rho_{wd}$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ) .....	202
Figure 8 – Exemple de limites d'homologie pour les parties mouillées d'une turbine Pelton verticale .....	206
Figure 9 – Exemple de limites d'homologie pour les parties mouillées d'une turbine Pelton horizontale .....	207
Figure 10 – Procédure de contrôle dimensionnel, de comparaison des résultats "acier contre acier" et d'application des tolérances pour le modèle et le prototype .....	210
Figure 11 – Turbine Pelton: exemple de dimensions à vérifier sur le distributeur et le corps des machines à arbre vertical et horizontal .....	212
Figure 12 – Turbine Pelton: exemple de dimensions à vérifier sur les augets et les injecteurs .....	213
Figure 13 – Définition de l'ondulation et de la rugosité de surface .....	219
Figure 14 – Système d'acquisition de données à multiplexage temporel .....	232
Figure 15 – Système d'acquisition de données à bus .....	232
Figure 16 – Temporisation .....	234
Figure 17 – Caractéristiques d'affaiblissement des filtres passe-bas typiques .....	234
Figure 18 – Différentes chaînes de mesure et leurs points de contrôle recommandés .....	237
Figure 19 – Système typique d'acquisition de données .....	239
Figure 20 – Réponse en fréquence d'un filtre analogique anti-repliement de spectre .....	240
Figure 21 – Exemple de courbe d'étalonnage .....	245
Figure 22 – Exemples de prises de pression .....	257
Figure 23 – Types de collecteurs de pression .....	258
Figure 24 – Manomètre à poids avec compensation par transducteur de pression ou de force (exemple de montage expérimental) .....	264
Figure 25 – Balance à pression (exemple de montage expérimental) .....	265
Figure 26 – Bassin de tranquillisation .....	269
Figure 27 – Limnimètres à pointe et à crochet .....	269
Figure 28 – Montage en équilibre .....	273
Figure 29 – Montage en équilibre avec deux cadres distincts .....	273
Figure 30 – Montage avec des paliers et joints (de la machine) en déséquilibre .....	274
Figure 31 – Montage utilisant un couplemètre .....	274
Figure 32 – Montage utilisant un couplemètre avec des paliers et joints (de la machine) en équilibre .....	275
Figure 33 – Montage utilisant un couplemètre avec des paliers et joints (de la machine) en déséquilibre .....	275
Figure 34 – Exemple présentant les élévations, hauteurs et niveaux de référence principaux du banc d'essai et de la machine modèle .....	281
Figure 35 – Turbines Pelton à axe horizontal: détermination de l'énergie hydraulique massique de la machine .....	284
Figure 36 – Turbine Pelton: colline de rendement indiquant la performance (exemple d'une machine à six injecteurs) .....	291

Figure 37 – Surface tridimensionnelle du rendement hydraulique et courbes de performance à $E_{nD}$ constant.....	293
Figure 38 – Courbes d'emballlement d'une turbine Pelton à six injecteurs .....	295
Figure 39 – Vitesse d'emballlement déterminée par extrapolation.....	296
Figure 40 – Rendement hydraulique mesuré par rapport au point de garantie .....	300
Figure 41 – Comparaison entre garanties et mesurages .....	301
Figure 42 – Courbes de vitesse et de débit d'emballlement de la turbine Pelton: comparaison entre garanties et mesurages.....	302
Figure 43 – Facteur de force du pointeau Pelton en fonction de la course relative du pointeau .....	308
Figure 44 – Exemple d'emplacement de prise de pression pour l'essai indiciel .....	312
Figure 45 – Exemple de représentation graphique des données de l'essai indiciel .....	313
Figure D.1 – Détermination de la vitesse maximale d'emballlement du prototype en tenant compte des pertes par frottement et par ventilation de l'appareil .....	329
Figure E.1 – Principe de la méthode des segments distincts .....	331
Figure E.2 – Exemple de détermination des intervalles .....	331
Figure G.1 – Influence du nombre de Froude .....	340
Figure G.2 – Influence du nombre de Weber.....	341
Figure G.3 – Influence du nombre de Reynolds.....	341
Figure I.1 – Turbine .....	346
Tableau 1 – Coefficients de la formule de Herbst et Roegerer.....	201
Tableau 2 – Écarts maximaux admissibles.....	216
Tableau 3 – Rugosité de surface maximale recommandée pour le prototype $Ra$ .....	220
Tableau 4 – Récapitulatif des erreurs qui déterminent l'incertitude totale de mesure.....	246
Tableau 5 – Exemples de montage expérimental de manomètres à colonne liquide .....	261
Tableau 6 – Nomenclature pour la Figure 28 à la Figure 33 .....	272
Tableau 7 – Nombres de similitude .....	287
Tableau 8 – Conditions de similitude pour les différents types d'essais sur modèle .....	288
Tableau 9 – Valeurs minimales pour la taille du modèle et les paramètres d'essai .....	289
Tableau 10 – Variables définissant le point de fonctionnement d'une machine.....	291
Tableau A.1 –Termes adimensionnels .....	316
Tableau B.1 – Accélération due à la pesanteur $g$ ( $m \cdot s^{-2}$ ) .....	317
Tableau B.2 – Masse volumique de l'eau distillée $\rho_{wD}$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ) .....	318
Tableau B.3 – Viscosité cinématique de l'eau distillée $\nu$ ( $m^2 \cdot s^{-1}$ ) .....	320
Tableau B.4 – Pression de vapeur de l'eau distillée $p_{vA}$ (Pa) .....	321
Tableau B.5 – Masse volumique de l'air sec $\rho_a$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ).....	322
Tableau B.6 – Pression ambiante $p_{amb}$ (Pa) .....	323
Tableau B.7 – Masse volumique du mercure $\rho_{Hg}$ ( $kg \cdot m^{-3}$ ).....	324
Tableau G.1 – Données numériques pour la tension superficielle $\sigma^*$ .....	340
Tableau H.1 – Niveaux de confiance.....	343
Tableau H.2 – Valeurs du $t$ de Student.....	344
Tableau H.3 – Calcul de l'écart-type estimé et de l'incertitude pour huit observations .....	345

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### TURBINES PELTON – ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Électrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. À cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevets. L'IEC ne prend pas position quant à la preuve, à la validité et à la portée de ces droits de propriété. À la date de publication du présent document, l'IEC n'a reçu aucune déclaration relative à des droits de brevets, qui pourraient être exigés pour la mise en œuvre du présent document. Toutefois, il est rappelé aux responsables de cette mise en œuvre qu'il ne s'agit peut-être pas des informations les plus récentes, qui peuvent être obtenues dans la base de données disponible à l'adresse <https://patents.iec.ch>. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 63132 a été établie par le comité d'études 4 de l'IEC: Turbines hydrauliques. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette première édition de l'IEC 63461 annule et remplace la troisième édition de l'IEC 60193 parue en 2019. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) les exigences spécifiques aux turbines Pelton ont été supprimées ;
- b) la nouvelle norme est publiée comme norme indépendante.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
4/460/CDV	4/483/RVC

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cette Norme internationale est l'anglais.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous [www.iec.ch/members\\_experts/refdocs](http://www.iec.ch/members_experts/refdocs). Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous [www.iec.ch/publications](http://www.iec.ch/publications).

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives au document recherché. À cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé, ou
- révisé.

## **TURBINES PELTON – ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE**

### **1 Domaine d'application**

Le présent document s'applique aux essais de modèles de laboratoire de tout type de turbine Pelton.

Il s'applique aux modèles de machines prototypes d'une puissance unitaire supérieure à 5 MW. L'application intégrale des procédures décrites dans le présent document ne se justifie généralement pas pour les machines de puissance inférieure. Néanmoins, le présent document peut être utilisé pour de telles machines après accord entre l'acheteur et le fournisseur.

Le présent document exclut toutes les questions d'intérêt purement commercial, sauf celles inextricablement liées au déroulement des essais.

Le présent document ne concerne ni les dispositions constructives des machines ni les propriétés mécaniques de leurs composants, pour autant qu'elles n'affectent pas les performances du modèle ou la relation entre les performances du modèle et celles du prototype.

Le présent document régit les modalités des essais de réception sur modèle à réaliser sur les turbines Pelton pour déterminer si les principales garanties du contrat de performance hydraulique (voir le 9.2) sont satisfaites.

Il fixe les règles de conduite de ces essais et spécifie les mesures à prendre en cas de contestation d'une phase quelconque des essais.

Les principaux objectifs du présent document sont les suivants:

- définir les termes et les grandeurs utilisés;
- spécifier les méthodes d'essai et de mesure des grandeurs concernées, afin de déterminer les performances hydrauliques du modèle;
- spécifier les méthodes de calcul des résultats et de comparaison avec les garanties;
- déterminer si les garanties contractuelles qui relèvent du domaine d'application du présent document sont respectées;
- définir l'étendue, le contenu et la structure du rapport final.

Les garanties peuvent être données de l'une des manières suivantes:

- garanties pour les performances hydrauliques du prototype, calculées à partir des résultats des essais sur modèle en prenant en considération les effets d'échelle;
- garanties pour les performances hydrauliques du modèle.

En outre, des données de performance supplémentaires (voir l'Article 10) peuvent être nécessaires pour la conception ou le fonctionnement du prototype de la machine hydraulique. Contrairement aux exigences de l'Article 8 relatives aux performances hydrauliques principales, les informations relatives à ces données supplémentaires fournies dans l'Article 10 sont considérées uniquement comme des recommandations ou conseils à l'intention de l'utilisateur (voir le 10.1).

Des essais de réception sur modèle sont effectués si les conditions de terrain prévues pour les essais de réception (voir l'IEC 60041:1991) ne permettent pas de vérifier les garanties données pour la machine prototype.

Il importe de clairement définir la méthode de conversion des performances du modèle au prototype dans le contrat de performances hydrauliques principales.

Le présent document peut également s'appliquer aux essais sur modèle à d'autres fins, c'est-à-dire aux essais comparatifs et aux travaux de recherche et de développement.

Lorsque des essais de réception sur modèle ont été effectués, les essais sur place peuvent être limités à des essais indiciels (voir l'IEC 60041:1991).

En cas de contradiction entre le présent document et tout autre document, le présent document prévaut.

## 2 Références normatives

Les documents suivants sont cités dans le texte de sorte qu'ils constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 2186:2007, *Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements* (disponible en anglais seulement)

ISO 2533:1975, *Atmosphère type*

ISO 4185:1980, *Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées – Méthode par pesée*

ISO 8316:1987, *Mesure de débit des liquides dans les conduites fermées – Méthode par jaugeage d'un réservoir volumétrique*