



INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Rules for steam turbine thermal acceptance tests –
Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines**

**Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur –
Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de
turbines**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 27.040

ISBN 978-2-8322-0938-7

**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.....	7
INTRODUCTION.....	9
1 Scope.....	11
1.1 General.....	11
1.2 Object.....	11
1.3 Matters to be considered in the contract	12
2 Normative references	12
3 Units, symbols, terms and definitions.....	12
3.1 General.....	12
3.2 Symbols, units	13
3.3 Subscripts, superscripts and definitions	14
3.4 Definition of guarantee values and test results	16
3.4.1 Guidance on guarantee parameters	16
3.4.2 Thermal efficiency	16
3.4.3 Heat rate	18
3.4.4 Thermodynamic efficiency	18
3.4.5 Steam rate.....	19
3.4.6 Main steam flow capacity.....	19
3.4.7 Power output	19
3.4.8 Guarantee values for extraction and mixed-pressure turbines.....	20
3.4.9 Thermal Load Capacity (for Nuclear applications).....	20
4 Guiding principles.....	20
4.1 Advance planning for test.....	20
4.2 Preparatory agreements and arrangements for tests	21
4.3 Planning of the test.....	22
4.3.1 Time for acceptance tests.....	22
4.3.2 Direction of acceptance tests.....	22
4.4 Preparation of the tests.....	22
4.4.1 Condition of the plant	22
4.4.2 Condition of the steam turbine	23
4.4.3 Condition of the condenser	23
4.4.4 Isolation of the cycle.....	24
4.4.5 Checks for leakage of condenser and feed water heaters	26
4.4.6 Cleanliness of the steam strainers	26
4.4.7 Checking of the test measuring equipment	26
4.5 Comparison measurements.....	26
4.6 Settings for tests.....	27
4.6.1 Load settings.....	27
4.6.2 Special settings	28
4.7 Preliminary tests	28
4.8 Acceptance tests	28
4.8.1 Constancy of test conditions	28
4.8.2 Maximum deviation and fluctuation in test conditions.....	28
4.8.3 Duration of test runs and frequency of reading.....	29
4.8.4 Reading of integrating measuring instruments	30
4.8.5 Alternative methods	30
4.8.6 Recording of tests	30

4.8.7	Additional measurement	30
4.8.8	Preliminary calculations	30
4.8.9	Consistency and number of tests	30
4.9	Repetition of acceptance tests	31
5	Measuring techniques and measuring instruments	31
5.1	Overview	31
5.1.1	Instrument accuracy requirements	31
5.1.2	Measuring instruments	31
5.1.3	Measuring uncertainty	31
5.1.4	Calibration of instruments	32
5.1.5	Alternative instrumentation	32
5.2	Measurement of power	36
5.2.1	Determination of mechanical turbine output	36
5.2.2	Measurement of boiler feed pump power	36
5.2.3	Determination of electrical power of a turbine generator	37
5.2.4	Measurement of electrical power	38
5.2.5	Electrical instrument connections	38
5.2.6	Electrical instruments	38
5.2.7	Instrument transformers	39
5.3	Flow measurement	39
5.3.1	Determination of flows to be measured	39
5.3.2	Measurement of primary flow	39
5.3.3	Installation and location of flow measuring devices	42
5.3.4	Calibration of primary flow devices for water flow	43
5.3.5	Inspection of flow measuring devices	44
5.3.6	Differential pressure measurements	45
5.3.7	Water flow fluctuation	45
5.3.8	Secondary flow measurements	45
5.3.9	Occasional secondary flows	48
5.3.10	Density of water and steam	49
5.3.11	Determination of cooling water flow of condenser	49
5.4	Pressure measurement (excluding condensing turbine exhaust pressure)	50
5.4.1	Pressures to be measured	50
5.4.2	Instruments	50
5.4.3	Main pressure measurements	50
5.4.4	Pressure tapping holes and connecting lines	51
5.4.5	Shut-off valves	52
5.4.6	Calibration of pressure measuring devices	52
5.4.7	Atmospheric pressure	52
5.4.8	Correction of readings	52
5.5	Condensing turbine exhaust pressure measurement	53
5.5.1	General	53
5.5.2	Plane of measurement	53
5.5.3	Pressure taps	53
5.5.4	Manifolds	54
5.5.5	Connecting lines	54
5.5.6	Instruments	54
5.5.7	Calibration	54
5.6	Temperature measurement	54

5.6.1	Points of temperature measurement	54
5.6.2	Instruments	55
5.6.3	Main temperature measurements	55
5.6.4	Feed train temperature measurements (including bled steam)	55
5.6.5	Condenser cooling water temperature measurement	56
5.6.6	Thermometer wells	56
5.6.7	Precautions to be observed in the measurement of temperature	57
5.7	Steam quality determination	57
5.7.1	General	57
5.7.2	Tracer technique	57
5.7.3	Condensing method	58
5.7.4	Constant rate injection method	61
5.7.5	Extraction enthalpy determined by constant rate injection method	62
5.7.6	Tracers and their use	64
5.8	Time measurement	65
5.9	Speed measurement	65
6	Evaluation of tests	65
6.1	Preparation of evaluation	65
6.2	Computation of results	66
6.2.1	Calculation of average values of instrument readings	66
6.2.2	Correction and conversion of averaged readings	66
6.2.3	Checking of measured data	66
6.2.4	Thermodynamic properties of steam and water	67
6.2.5	Calculation of test results	68
7	Correction of test results and comparison with guarantee	68
7.1	Guarantee values and guarantee conditions	68
7.2	Correction of initial steam flow capacity	68
7.3	Correction of output	69
7.3.1	Correction of maximum output	69
7.3.2	Correction of Output with specified initial steam flow	69
7.4	Correction of the thermal performance	69
7.5	Definition and application of correction values	70
7.6	Correction methods	70
7.6.1	General	70
7.6.2	Correction by heat balance calculation	71
7.6.3	Correction by use of correction curves prepared by the manufacturer	72
7.6.4	Tests to determine correction values	72
7.7	Variables to be considered in the correction of specific turbine cycles	72
7.7.1	Scope of corrections	72
7.7.2	Turbines with regenerative feed-water heating	72
7.7.3	Turbines which have no provision for the addition or extraction of steam after partial expansion	74
7.7.4	Turbines with steam extraction for purposes other than feed-water heating (extraction turbines)	74
7.7.5	Other types of turbine	74
7.8	Guarantee comparison	75
7.8.1	Tolerance and weighting	75
7.8.2	Guarantee comparison with locus curve	75
7.8.3	Guarantee comparison with guarantee point	76

7.8.4	Guarantee comparison for turbines with throttle governing	76
7.8.5	Guarantee comparison for extraction turbines	76
7.9	Deterioration of turbine performance (ageing)	77
7.9.1	Timing to minimise deterioration	77
7.9.2	Correction with comparison tests	77
7.9.3	Correction without comparison tests	77
8	Measuring uncertainty	78
8.1	General	78
8.2	Determination of measuring uncertainty of steam and water properties	79
8.2.1	Pressure	79
8.2.2	Temperature	79
8.2.3	Enthalpy and enthalpy difference	79
8.3	Calculation of measuring uncertainty of output	80
8.3.1	Electrical measurement	80
8.3.2	Mechanical measurement	82
8.3.3	Additional uncertainty allowance because of unsteady load conditions	82
8.4	Determination of measuring uncertainty of mass flow	82
8.4.1	Measuring uncertainty of mass flow measurements	82
8.4.2	Measuring uncertainty of multiple measurements of primary flow	82
8.4.3	Uncertainty allowance for cycle imperfections	83
8.5	Calculation of measuring uncertainty of results	83
8.5.1	General	83
8.5.2	Measuring uncertainty of thermal efficiency	83
8.5.3	Measuring uncertainty of thermodynamic efficiency	84
8.5.4	Uncertainty of corrections	84
8.5.5	Guiding values for the measuring uncertainty of results	85
8.6	Example uncertainty calculation	85
Annex A (normative)	Feedwater heater leakage and condenser leakage tests	87
A.1	Feedwater heater leakage tests	87
A.2	Condenser leakage tests	87
Annex B (normative)	Evaluation of multiple measurements, compatibility	88
Annex C (normative)	Mass flow balances	89
C.1	General	89
C.2	Flows for further evaluations (informative)	90
Annex D (informative)	Short-statistical definition of measuring uncertainty and error propagation in acceptance tests	92
Annex E (informative)	Temperature variation method	96
E.1	Description of the problem	96
E.2	Possibility to determine the leakage flow	96
E.3	Applied example	98
Bibliography	102
Figure 1	– Diagrams for interpretation of symbols and subscripts	17
Figure 2	– Diagram showing location and type of test instrumentation (fossil fuel plant)	33
Figure 3	– Diagram showing location and type of test instrumentation (nuclear plant)	34
Figure 4	– USM with flow conditioner or flow straightener	41
Figure 5	– Throttle steam quality calculations for boiling water reactor	60

Figure 6 – Throttle steam quality calculations for pressurized water reactor	61
Figure 7 – Typical installation of injection and sampling points	63
Figure 8 – Oxygen content of sample stream	64
Figure 9 – Guarantee comparison on locus curve	76
Figure 10 – Correction factor for steam table tolerance	80
Figure C.1 – Diagram of cycle for plant with steam turbine with single reheating and five stages of regenerative feedwater heating extraction	90
Figure E.1 – IP turbine bowl expansion line depending on different labyrinth flow rates	97
Figure E.2 – Schematic diagram of a combined HP/IP1/IP2 turbine	98
Figure E.3 – Result of temperature variation tests. IP2 turbine bowl efficiency as a function of the labyrinth flow rate (sealing 2) for varying live and reheat temperatures	101
Table 1 – Maximum deviations and fluctuations in operating conditions	29
Table 2 – Acceptable instrumentation and uncertainties for acceptance tests	35
Table 3 – Apportionment of unaccounted leakages	67
Table 4 – Average deterioration by ageing	77
Table 5 – Deterioration of thermal efficiency and power output	77
Table 6 – Guiding values for the uncertainty of test results	85
Table 7 – Example uncertainty calculation for reheat cycle with uncalibrated primary flows measurements	86
Table E.1 – Measured thermodynamic parameters and calculated IP2 turbine bowl isentropic efficiencies	100

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

RULES FOR STEAM TURBINE THERMAL ACCEPTANCE TESTS –

Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines

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) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

IEC 60953-0 has been prepared by subcommittee WG 11/MT 14: Thermal Acceptance Test, of IEC technical committee 5: Steam Turbines. It is an International Standard.

This first edition cancels and replaces IEC 60953-2, published in 1990. This edition constitutes a technical revision. This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- a) IEC 60953-2:1990 has been used as the basis to develop IEC 60953-0;
- b) Outdated measuring techniques have been updated and the corresponding reduction of the expected test result measuring uncertainty indicated;
- c) Guarantee of power output at specified steam flow has been included;
- d) A proposal for assignment of unaccounted for leakages has been included;
- e) Correction methods and guarantee comparisons are updated;
- f) Various appendices deleted:
 - Appendix B (flow nozzle)
 - Appendix E (generalized correction curves)
 - Appendix G (power measurement uncertainty)

g) Annex added:

- Annex E (Temperature variation method) taken over from IEC 60953-3:2002, Annex L

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

Draft	Report on voting
5/248/FDIS	5/250/RVD

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

A list of all parts in the IEC 60953 series, published under the general title *Rules for steam turbine thermal acceptance tests*, can be found on the IEC website.

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. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/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 in the data related to the specific document. At this date, the document will be

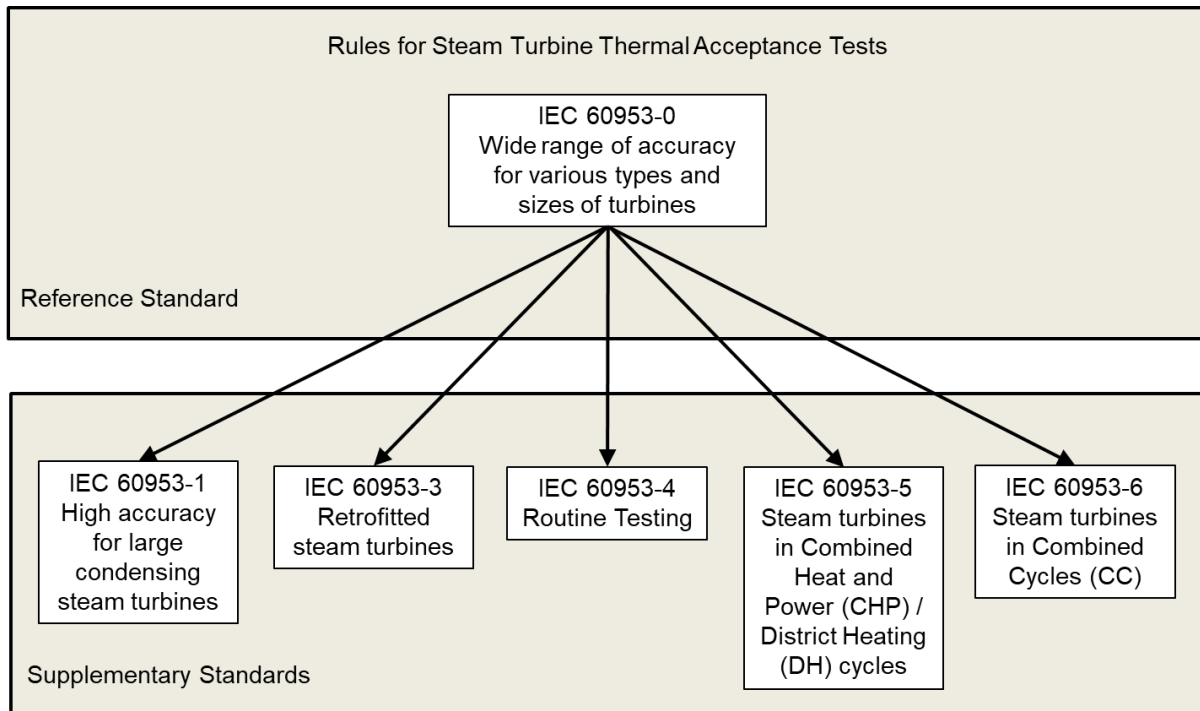
- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The "colour inside" logo on the cover page of this document indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

INTRODUCTION

The continuing development of measuring techniques, the increasing capacity of steam turbines and increasing variety of steam turbine configurations has necessitated a revision of IEC 60953:1990.

Since all the needs of the power industry could not be satisfied by one single performance test standard covering the requirements for all of the steam turbine configurations and accuracy, the revision to this standard is based upon one reference standard and various supplementary parts as indicated below:



1) Basic philosophy and figures on uncertainty

IEC 60953-0 provides for acceptance tests of steam turbines of various types and capacities with corresponding measuring uncertainty, it is based upon the Method B of IEC 60953-2:1990. Additional and alternative guidance will be given for specific steam turbine applications in the supplementary standards where it is required.

Instrumentation and measuring procedures are chosen accordingly from a scope specified in the standard series which is centred mainly on standardized instrumentation and procedures, but may extend up to high accuracy provisions requiring calibration of flow measuring devices. The resulting measuring uncertainty of the test result is then determined by calculating methods presented in the standard series and normally, if not stated otherwise in the contract, taken into account in the comparison between test result and guarantee value. The total cost of an acceptance test can therefore be maintained in relationship with the economic value of the guarantee values to be ascertained.

When good-standardized instrumentation and procedures are applied in a test, the measuring uncertainty given in Table 6 can be achieved. The parties to the test should reach agreement on the measuring uncertainty desired for the acceptance tests.

2) Guiding principles

The requirements concerning the preparation and conditions of the test and especially such conditions of the test as duration, deviations and constancy of test conditions are defined.

The test should be conducted preferably within eight weeks after first synchronisation. It is the intent during this period to minimize performance deterioration and risk of damage to the turbine.

Enthalpy drop tests should be made during this period to monitor HP and IP turbine section performance. However, these tests do not provide LP section performance and for this reason it is imperative to conduct the acceptance tests as soon as practicable.

Adjustment of the heat rate and power output test results for the effects of aging preferably by use of start-up enthalpy drop efficiency tests or by application of a standard allowance according to 7.9 is to be applied unless otherwise agreed in the contract.

3) Instruments and methods of measurement

a) Measurement instruments (for electrical power, pressure, temperature)

The measuring instruments used should be individually calibrated shortly before the test.

b) Flow measurement devices

For the measurement of main flows, uncalibrated or calibrated standardized flow measuring devices may be used.

Typically uncalibrated standardized flow measuring devices are used, however calibration is recommended where a reduction of overall measuring uncertainty is desirable. Double or multiple measurement of primary flow is recommended for the reduction of measuring uncertainty and a method for checking the compatibility is described.

4) Evaluation of tests

The preparatory work for the evaluation and calculation of the test results is covered.

Detailed methods for calculation of measuring uncertainty values of measured variables and tests results are given.

5) Correction of test results and comparison with guarantees

The correction of test results to guarantee conditions is covered. The measuring uncertainty of the result is taken into account in the guarantee comparison.

6) Proposals for application

Since the acceptance test method to be applied has to be considered in the details of the plant design, it should be stated as early as possible, preferably in the turbine contract, which method will be used.

This standard series can be applied to steam turbines of any type and any power. The desired measuring uncertainty should be decided upon sufficiently early, so that the necessary provisions can be included in the plant.

If the guarantee includes the complete power plant or large parts thereof, the relevant parts of this standard series can be applied for an acceptance test in accordance with the definition of the guarantee value.

RULES FOR STEAM TURBINE THERMAL ACCEPTANCE TESTS –

Part 0: Wide range of accuracy for various types and sizes of turbines

1 Scope

1.1 General

The rules given in this document are applicable to thermal acceptance tests covering a wide range of accuracy on steam turbines of every type, rating and application. Only the relevant portion of these rules will apply to any individual case.

The rules provide for the testing of turbines, whether operating with either superheated or saturated steam. They include measurements and procedures required to determine specific enthalpy within the moisture region and describe precautions necessary to permit testing while respecting radiological safety rules in nuclear plants.

Uniform rules for the preparation, carrying out, evaluation, comparison with guarantee and calculation of measuring uncertainty of acceptance tests are defined in this standard. Details of the conditions under which the acceptance test can take place are included.

Should any complex or special case arise which is not covered by these rules, appropriate agreement is to be reached by manufacturer and purchaser before the contract is signed.

1.2 Object

The purpose of the thermal acceptance tests of steam turbines and turbine cycles described in this document is to verify guarantees given by the manufacturer of the equipment concerning:

Efficiency guarantees

- a) Thermal efficiency;
- b) Heat rate;
- c) Thermodynamic efficiency;
- d) Steam rate;
- e) Power output.

Capacity guarantees

- a) Main steam flow capacity;
- b) Maximum power output at specified steam conditions according to IEC 60045-1 (other than steam flow);
- c) Nuclear: thermal load capacity of the steam turbine under defined conditions.

The guarantees with their provisions are formulated completely and without contradictions (see 3.4). The acceptance tests may also include such measurements as are necessary for corrections according to the conditions of the guarantee and checking of the results.

1.3 Matters to be considered in the contract

Some matters in these rules are to be considered at an early stage. Such matters are dealt with in the following subclauses:

Subclause

- 1.1 (paragraph 4)
- 1.2 (paragraph 2)
- 4.1 (paragraph 3 and 4)
- 4.3.2 (paragraph 1)
- 7.6
- 7.8
- 7.9 (paragraph 1)

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/IEC Guide 98, *Uncertainty of measurement*

IEC 60045-1, *Steam turbines – Part 1: Specifications*

ISO 5167 (all parts), *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full.*

ISO 12242, *Measurement of fluid flow in conduits – ultrasonic transit-time meters for liquids*

ISO 18888, *Gas turbine combined cycle power plants – Thermal performance tests*

ANSI/IEEE C57.13, *IEEE Standard requirements for instrument transformers*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	109
INTRODUCTION.....	111
1 Domaine d'application	113
1.1 Généralités	113
1.2 Objet.....	113
1.3 Points à examiner dans le contrat	114
2 Références normatives	114
3 Unités, symboles, termes et définitions.....	114
3.1 Généralités	114
3.2 Symboles et unités	115
3.3 Indices, exposants et définitions	116
3.4 Définition des valeurs garanties et des résultats d'essais.....	118
3.4.1 Recommandations relatives aux paramètres garantis	118
3.4.2 Rendement thermique	118
3.4.3 Consommation spécifique de chaleur	120
3.4.4 Rendement thermodynamique	120
3.4.5 Consommation spécifique de vapeur	121
3.4.6 Débit de vapeur principal.....	121
3.4.7 Puissance électrique fournie.....	121
3.4.8 Valeurs garanties pour les turbines à prélèvements et à pression mixte	122
3.4.9 Capacité de charge thermique (pour applications nucléaires)	122
4 Principes directeurs.....	122
4.1 Dispositions à prendre avant l'essai.....	122
4.2 Accords et dispositions préparatoires en vue des essais.....	123
4.3 Planification de l'essai	124
4.3.1 Délai pour la réalisation des essais de réception	124
4.3.2 Réalisation des essais de réception.....	124
4.4 Préparation des essais	125
4.4.1 Etat de l'installation	125
4.4.2 Etat de la turbine à vapeur.....	125
4.4.3 Etat du condenseur	125
4.4.4 Isolement du cycle.....	126
4.4.5 Vérifications de la fuite des réchauffeurs de condenseur et d'eau alimentaire.....	128
4.4.6 Propreté des filtres à vapeur.....	128
4.4.7 Contrôle des instruments de mesure utilisés pendant l'essai.....	128
4.5 Mesures comparatives	129
4.6 Paramétrages en vue des essais	129
4.6.1 Paramètres de charge	129
4.6.2 Paramètres spéciaux	130
4.7 Essais préliminaires.....	130
4.8 Essais de réception	131
4.8.1 Constance des conditions d'essai	131
4.8.2 Ecart maximal et fluctuation maximale des conditions d'essai.....	131
4.8.3 Durée des essais et fréquence des relevés.....	132
4.8.4 Lecture de l'intégration des instruments de mesure	133
4.8.5 Autres méthodes	133

4.8.6	Enregistrement des essais.....	133
4.8.7	Mesurage supplémentaire.....	133
4.8.8	Calculs préliminaires	134
4.8.9	Cohérence et nombre d'essais.....	134
4.9	Répétition des essais de réception	134
5	Techniques de mesure et instruments de mesure	134
5.1	Vue d'ensemble	134
5.1.1	Exigences de précision des instruments	134
5.1.2	Instruments de mesure	134
5.1.3	Incertitude de mesure.....	135
5.1.4	Etalonnage des instruments.....	135
5.1.5	Autres instruments.....	135
5.2	Mesurage de la puissance	139
5.2.1	Détermination de la puissance mécanique en sortie de turbine.....	139
5.2.2	Mesurage de la puissance de la pompe d'alimentation de la chaudière.....	139
5.2.3	Détermination de la puissance électrique d'un groupe turboalternateur.....	140
5.2.4	Mesurage de la puissance électrique.....	141
5.2.5	Branchements électriques des instruments.....	141
5.2.6	Instruments électriques.....	141
5.2.7	Transformateurs de mesure.....	142
5.3	Mesurage du débit	142
5.3.1	Détermination des débits à mesurer	142
5.3.2	Mesurage du débit principal.....	142
5.3.3	Installation et emplacement des débitmètres	145
5.3.4	Etalonnage des dispositifs de mesure du débit principal pour le débit d'eau	146
5.3.5	Examen des débitmètres	147
5.3.6	Mesurages de pression différentielle.....	148
5.3.7	Fluctuation du débit d'eau.....	149
5.3.8	Mesurage des débits secondaires.....	149
5.3.9	Débits secondaires occasionnels	152
5.3.10	Masse volumique de l'eau et de la vapeur	153
5.3.11	Détermination du débit d'eau de refroidissement du condenseur.....	153
5.4	Mesurage de la pression (à l'exclusion de la pression d'échappement des turbines à condensation).....	154
5.4.1	Pressions à mesurer.....	154
5.4.2	Instruments	154
5.4.3	Mesurages de la pression principale.....	155
5.4.4	Pression des orifices de soutirage et des conduites de raccordement.....	155
5.4.5	Vannes d'arrêt.....	156
5.4.6	Etalonnage des dispositifs de mesure de la pression	156
5.4.7	Pression atmosphérique	157
5.4.8	Correction des relevés.....	157
5.5	Mesurage de la pression d'échappement d'une turbine à condensation.....	158
5.5.1	Généralités.....	158
5.5.2	Plan de mesure	158
5.5.3	Prises de pression.....	158
5.5.4	Distributeurs.....	159
5.5.5	Conduites de raccordement.....	159

5.5.6	Instruments	159
5.5.7	Etalonnage	159
5.6	Mesurage de la température	159
5.6.1	Points de mesure de la température	159
5.6.2	Instruments	159
5.6.3	Mesurages de la température principale	160
5.6.4	Mesurages de la température du train d'alimentation (y compris la vapeur soutirée)	160
5.6.5	Mesurage de la température de l'eau de refroidissement du condenseur	161
5.6.6	Sondes thermométriques	161
5.6.7	Précautions à prendre lors des mesurages de la température	162
5.7	Détermination du titre de la vapeur	162
5.7.1	Généralités	162
5.7.2	Technique des traceurs	163
5.7.3	Méthode de la condensation	163
5.7.4	Méthode d'injection à vitesse constante	166
5.7.5	Enthalpie au prélèvement, déterminée par méthode d'injection à vitesse constante	167
5.7.6	Les traceurs et leur utilisation	169
5.8	Mesurage du temps	170
5.9	Mesurage de la vitesse	170
6	Evaluation des essais	170
6.1	Préparation de l'évaluation	170
6.2	Calcul des résultats	171
6.2.1	Calcul des valeurs moyennes des relevés effectués avec les instruments	171
6.2.2	Correction et conversion des moyennes relevées	171
6.2.3	Vérification des données mesurées	171
6.2.4	Propriétés thermodynamiques de la vapeur et de l'eau	173
6.2.5	Calcul des résultats d'essais	173
7	Correction des résultats d'essais et comparaison à la garantie	173
7.1	Valeurs garanties et conditions de garantie	173
7.2	Correction du débit de vapeur initial	173
7.3	Correction de la puissance fournie	174
7.3.1	Correction de la puissance maximale fournie	174
7.3.2	Correction de la puissance fournie avec le débit de vapeur initial spécifié	174
7.4	Correction des performances thermiques	175
7.5	Définition et application des valeurs de correction	175
7.6	Méthodes de correction	176
7.6.1	Généralités	176
7.6.2	Correction par calcul du bilan thermodynamique	177
7.6.3	Correction à l'aide de courbes de correction élaborées par le constructeur	178
7.6.4	Essais pour déterminer les valeurs de correction	178
7.7	Variables à prendre en compte dans la correction de cycles de turbine spécifiques	178
7.7.1	Domaine d'application des corrections	178
7.7.2	Turbines avec réchauffage de l'eau alimentaire	178

7.7.3	Turbines qui n'ont pas de dispositions pour l'ajout ou le prélèvement de vapeur après une détente partielle.....	180
7.7.4	Turbines à soutirage de vapeur pour des usages autres que le réchauffage de l'eau alimentaire (turbines à prélèvements)	180
7.7.5	Autres types de turbines	181
7.8	Comparaison à la garantie	181
7.8.1	Tolérance et pondération	181
7.8.2	Comparaison à la garantie à l'aide d'une courbe de points réels	182
7.8.3	Comparaison à la garantie à l'aide d'un point garanti	182
7.8.4	Comparaison à la garantie pour les turbines avec réglage par étranglement de la vapeur	183
7.8.5	Comparaison à la garantie pour les turbines à prélèvements	183
7.9	Dégradation des performances de la turbine (vieillessement).....	183
7.9.1	Délai pour réduire le plus possible la dégradation.....	183
7.9.2	Correction avec essais de comparaison.....	183
7.9.3	Correction sans essais de comparaison.....	183
8	Incertitude de mesure	184
8.1	Généralités	184
8.2	Détermination de l'incertitude de mesure des propriétés de vapeur et d'eau	185
8.2.1	Pression	185
8.2.2	Température	185
8.2.3	Enthalpie et différence d'enthalpie	185
8.3	Calcul de l'incertitude de mesure de la puissance fournie	187
8.3.1	Mesurage électrique	187
8.3.2	Mesurage mécanique	188
8.3.3	Marge d'incertitude supplémentaire en raison de conditions de charge instables.....	188
8.4	Détermination de l'incertitude de mesure du débit massique	189
8.4.1	Mesurage de l'incertitude relative aux mesures du débit massique	189
8.4.2	Mesurage de l'incertitude relative à plusieurs mesurages du débit principal.....	189
8.4.3	Marge d'incertitude pour les imperfections du cycle	189
8.5	Calcul de l'incertitude de mesure des résultats	189
8.5.1	Généralités.....	189
8.5.2	Mesurage de l'incertitude sur le rendement thermique	190
8.5.3	Mesurage de l'incertitude relative au rendement thermodynamique	191
8.5.4	Incertitude sur les corrections.....	191
8.5.5	Valeurs indicatives pour l'incertitude de mesure des résultats.....	191
8.6	Exemple de calcul d'incertitude.....	192
Annexe A (normative)	Essais de fuites des réchauffeurs d'eau alimentaire et de fuites du condenseur.....	194
A.1	Essais de fuites des réchauffeurs d'eau alimentaire	194
A.2	Essais de fuites du condenseur	194
Annexe B (normative)	Evaluation de mesures multiples – compatibilité.....	195
Annexe C (normative)	Bilans de débits massiques.....	196
C.1	Généralités	196
C.2	Débits pour évaluations complémentaires (informatif)	197
Annexe D (informative)	Définition statistique courte de la mesure de l'incertitude et de la propagation des erreurs lors des essais de réception	199

Annexe E (informative) Méthode de la variation des températures	203
E.1 Description du problème	203
E.2 Possibilité de déterminer le débit de fuite.....	203
E.3 Exemple appliqué	205
Bibliographie.....	209
Figure 1 – Schémas d'interprétation des symboles et des indices	119
Figure 2 – Schéma de l'emplacement et des types d'instruments d'essai (centrale conventionnelle)	136
Figure 3 – Schéma de l'emplacement et des types d'instruments d'essai (centrale nucléaire)	137
Figure 4 – USM avec un conditionneur d'écoulement ou un redresseur d'écoulement	144
Figure 5 – Calculs du titre de la vapeur à l'étranglement (diaphragme) pour un réacteur à eau bouillante	165
Figure 6 – Calculs du titre de la vapeur à l'étranglement (diaphragme) pour un réacteur à eau pressurisée	166
Figure 7 – Installation type des points d'injection et d'échantillonnage	168
Figure 8 – Teneur en oxygène du flux d'échantillon	169
Figure 9 – Comparaison à la garantie sur la courbe de points réels	182
Figure 10 – Facteur de correction pour la tolérance du tableau pour la vapeur.....	187
Figure C.1 – Diagramme de cycle pour une centrale à turbine à vapeur à simple resurchauffe et cinq étapes de soutirage de réchauffage d'eau alimentaire.....	197
Figure E.1 – Ligne de détente du tore d'admission MP en fonction de différents débits de fuite aux labyrinthes.....	204
Figure E.2 – Diagramme schématique d'un corps combiné HP/MP1/MP2.....	205
Figure E.3 – Résultat des essais de variation de température. Rendement du tore d'admission MP2 en fonction du débit de fuite aux labyrinthes (étanchéité 2) pour différentes températures de vapeur vive et de vapeur resurchauffée.....	208
Tableau 1 – Ecart maximum et fluctuations maximales dans les conditions d'exploitation	132
Tableau 2 – Instruments acceptables et incertitudes pour les essais de réception	138
Tableau 3 – Répartition des fuites non comptabilisées.....	173
Tableau 4 – Dégradation moyenne par vieillissement.....	184
Tableau 5 – Dégradation du rendement thermique et de la puissance fournie	184
Tableau 6 – Valeurs indicatives pour l'incertitude des résultats de l'essai	192
Tableau 7 – Exemple de calcul de l'incertitude pour un cycle avec resurchauffe et mesurages du débit principal de condensat non étalonnés.....	193
Tableau E.1 – Paramètres thermodynamiques mesurés et rendements isentropiques calculés dans le tore d'admission MP2.....	207

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

RÈGLES POUR LES ESSAIS THERMIQUES DE RÉCEPTION DES TURBINES À VAPEUR –

Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de turbines

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique 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. A 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 de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

L'IEC 60953-0 a été établie par le sous-comité WG 11/MT 14: Essai thermique de réception, du comité d'études 5 de l'IEC: Turbines à vapeur. Il s'agit d'une Norme internationale.

Cette première édition annule et remplace l'IEC 60953-2 parue en 1990. Cette édition constitue une révision technique. Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- a) l'IEC 60953-2:1990 a servi de base pour l'élaboration de l'IEC 60953-0;
- b) les techniques de mesure caduques ont été mises à jour, et la réduction correspondante de l'incertitude de mesure relative aux résultats d'essais présumés est indiquée;
- c) la garantie de puissance électrique à un débit de vapeur spécifié a été incluse;

- d) une suggestion d'imputation des fuites non comptabilisées a été incluse;
- e) les méthodes de correction et les comparaisons à la garantie ont été mises à jour;
- f) certaines annexes ont été supprimées:
 - Annexe B (tuyères);
 - Annexe E (courbes de correction généralisées);
 - Annexe G (incertitude de mesure de la puissance);
- g) une annexe a été ajoutée:
 - l'Annexe E (Méthode de la variation des températures) reprise de l'IEC 60953-3:2002, Annexe L.

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

Projet	Rapport de vote
5/248/FDIS	5/250/RVD

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60953, publiées sous le titre général *Règles pour les essais thermiques de réception des turbines à vapeur*, se trouve sur le site web de l'IEC.

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

Le présent 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. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications.

Le comité a décidé que le contenu du présent document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

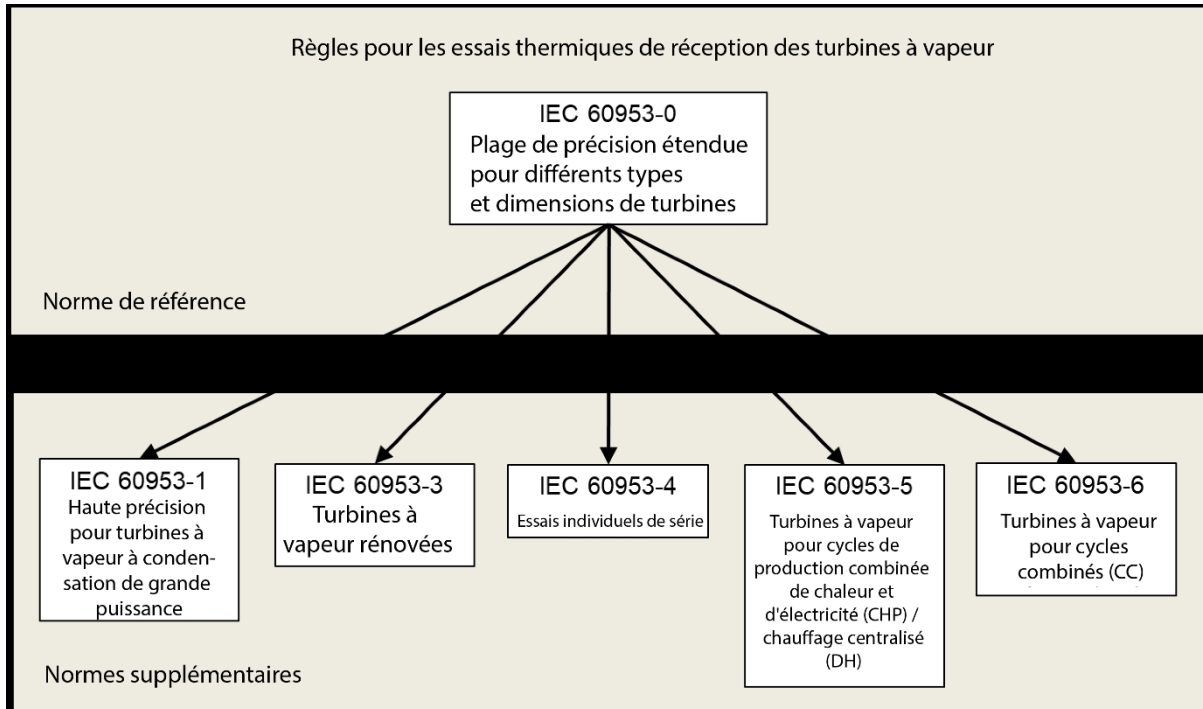
- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de ce document indique qu'il contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer ce document en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

Le développement continu des techniques de mesure, l'augmentation de la capacité des turbines à vapeur et l'accroissement des configurations de turbines à vapeur ont nécessité une révision de l'IEC 60953:1990.

Etant donné que tous les besoins de l'industrie de l'électricité ne peuvent pas être remplis par une seule norme d'essai de performance qui couvre les exigences relatives à l'ensemble des configurations et précisions des turbines à vapeur, la révision de cette norme repose sur une norme de référence et sur différentes parties supplémentaires, qui sont indiquées ci-dessous:



1) Philosophie de base et valeurs d'incertitude

L'IEC 60953-0 spécifie des essais de réception pour les turbines à vapeur de différents types et capacités avec l'incertitude de mesure correspondante. Elle repose sur la méthode B de l'IEC 60953-2:1990. Pour des applications de turbine à vapeur spécifiques, des recommandations supplémentaires et des variantes sont fournies dans les normes supplémentaires lorsque cela est nécessaire.

Les instruments et les procédures de mesure sont choisis en conséquence selon le domaine d'application spécifié dans la norme qui est essentiellement centré sur des instruments et des procédures normalisés, mais qui peut s'étendre à des dispositions de précision élevée qui nécessitent l'étalonnage des dispositifs de mesure du débit (débitmètres). L'incertitude de mesure relative au résultat de l'essai est alors déterminée par les méthodes de calcul présentées dans la série de normes et, sauf disposition contraire dans le contrat, est normalement prise en compte dans la comparaison entre résultat d'essai et valeur garantie. Le coût total d'un essai de réception peut donc être maintenu proportionnellement à la valeur économique des valeurs garanties à vérifier.

Lorsque des instruments et des procédures parfaitement normalisés sont appliqués lors d'un essai, l'incertitude de mesure indiquée dans le Tableau 6 peut être obtenue. Il convient que les parties concernées par l'essai fixent par accord l'incertitude de mesure souhaitée pour les essais de réception.

2) Principes directeurs

Les exigences relatives à la préparation et aux conditions de l'essai sont définies, notamment les conditions telles que la durée, les écarts et la constance des conditions d'essai.

Il convient d'effectuer les essais préférentiellement dans les huit semaines qui suivent le premier couplage. Pendant cette période, l'objet est de réduire le plus possible la dégradation des performances et le risque de dommages à la turbine.

Il convient d'effectuer des essais de chute d'enthalpie pendant cette période afin de surveiller les performances des sections HP et MP de la turbine. Cependant, ces essais ne fournissent pas les performances de la section BP. Il est donc primordial de procéder aux essais de réception dès que possible.

Un ajustement des résultats d'essais de la consommation spécifique de chaleur et de la puissance électrique fournie pour tenir compte des effets du vieillissement, préférentiellement par des essais de rendement de la chute d'enthalpie au démarrage ou par l'application d'une tolérance normalisée conformément au 7.9, doit être appliqué, sauf accord contraire dans le contrat.

3) Instruments et méthodes de mesure

a) Instruments de mesure (pour la puissance électrique, la pression, la température)

Il convient que les instruments de mesure utilisés soient étalonnés individuellement peu de temps avant l'essai.

b) Débitmètres

Pour le mesurage des débits principaux, des débitmètres normalisés, étalonnés ou non, peuvent être utilisés.

En règle générale, des débitmètres normalisés non étalonnés sont utilisés, mais un étalonnage est recommandé lorsqu'une réduction de l'incertitude de mesure globale est souhaitable. Un mesurage double ou multiple du débit principal est recommandé afin de réduire l'incertitude de mesure, et une méthode de vérification de la compatibilité est décrite.

4) Evaluation des essais

Les travaux préparatoires à l'évaluation et au calcul des résultats d'essais sont couverts.

Des méthodes complètes sont fournies pour le calcul des valeurs d'incertitude de mesure relatives aux variables mesurées et aux résultats d'essais.

5) Correction des résultats d'essais et comparaison aux garanties

La correction des résultats d'essais par rapport aux conditions de la garantie est couverte. L'incertitude de mesure du résultat est prise en compte lors de la comparaison à la garantie.

6) Suggestions d'application

Etant donné que la méthode d'essai de réception à appliquer doit être prise en compte dans les détails de la conception de l'installation, il convient de préciser le plus tôt possible, préférentiellement dans le contrat relatif à la turbine, quelle méthode est utilisée.

La présente série de normes peut être appliquée aux turbines à vapeur de tout type et de toute puissance. Il convient de déterminer l'incertitude de mesure souhaitée suffisamment tôt afin de pouvoir mettre en œuvre les dispositions nécessaires dans l'installation.

Si la garantie concerne l'ensemble ou une partie importante de la centrale, les parties pertinentes de la présente série de normes peuvent être appliquées à un essai de réception conformément à la définition de la valeur garantie.

RÈGLES POUR LES ESSAIS THERMIQUES DE RÉCEPTION DES TURBINES À VAPEUR –

Partie 0: Plage de précision étendue pour différents types et dimensions de turbines

1 Domaine d'application

1.1 Généralités

Les règles établies dans le présent document s'appliquent aux essais thermiques de réception qui portent sur une plage de précision étendue pour des turbines à vapeur de tous types, débits et applications. Seule la partie pertinente de ces règles s'applique à chaque cas particulier.

Les règles s'appliquent aux essais des turbines, qu'elles fonctionnent avec de la vapeur surchauffée ou saturée. Elles comprennent les mesurages et les procédures exigés pour déterminer l'enthalpie spécifique dans la région humide, et décrivent les précautions nécessaires pour réaliser les essais tout en respectant les règles de sécurité radiologique dans les centrales nucléaires.

La présente norme établit des règles uniformes pour la préparation, l'exécution, l'évaluation, la comparaison à la garantie et le calcul de l'incertitude de mesure pour les essais de réception. Les conditions dans lesquelles les essais de réception peuvent se dérouler sont spécifiées.

Si un cas complexe ou particulier n'est pas couvert par les présentes règles, un accord approprié doit être conclu entre le constructeur et l'acheteur avant la signature du contrat.

1.2 Objet

Les essais thermiques de réception des turbines à vapeur et des cycles de turbine décrits dans le présent document ont pour objet de vérifier les garanties données par le constructeur de l'équipement, notamment:

Garanties de rendement

- a) rendement thermique;
- b) consommation spécifique de chaleur;
- c) rendement thermodynamique;
- d) consommation spécifique de vapeur;
- e) puissance électrique fournie.

Garanties de capacité

- a) débit de vapeur principal;
- b) puissance électrique maximale fournie dans les conditions de vapeur spécifiées selon l'IEC 60045-1 (autres que le débit de vapeur);
- c) nucléaire: capacité de charge thermique de la turbine à vapeur dans des conditions définies.

Les garanties et leurs dispositions sont formulées dans leur intégralité et sans contradictions (voir 3.4). Les essais de réception peuvent également inclure, si nécessaire, des mesurages pour appliquer les corrections conformément aux conditions de la garantie et vérifier les résultats.

1.3 Points à examiner dans le contrat

Certains points des dispositions doivent être examinés dès la phase initiale du contrat. Ces points sont traités dans les paragraphes suivants:

Paragraphe	
1.1	(alinéa 4)
1.2	(alinéa 2)
4.1	(alinéas 3 et 4)
4.3.2	(alinéa 1)
7.6	
7.8	
7.9	(alinéa 1)

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).

Guide 98 de l'ISO/IEC, *Incertitude de mesure*

IEC 60045-1, *Turbines à vapeur – Partie 1: Spécifications*

ISO 5167 (toutes les parties), *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes insérés dans des conduites en charge de section circulaire*

ISO 12242, *Mesurage de débit des fluides dans les conduites fermées – Compteurs ultrasoniques pour liquides*

ISO 18888, *Turbines à gaz – Centrales à cycle combiné – Essais de performance thermique*

ANSI/IEEE C57.13, *IEEE Standard requirements for instrument transformers* (disponible en anglais seulement)