

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Rehabilitation and performance improvement**

**Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines –  
Réhabilitation et amélioration des performances**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 27.140

ISBN 978-2-8322-5201-7

**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.....	10
2 Normative references .....	10
3 Terms, definitions and nomenclature .....	10
4 Reasons for rehabilitating.....	12
4.1 General.....	12
4.2 Reliability and availability increase.....	13
4.3 Life extension and performance restoration.....	13
4.4 Performance improvement .....	14
4.5 Plant safety improvement.....	14
4.6 Environmental, social and regulatory issues.....	14
4.7 Maintenance and operating cost reduction .....	15
4.8 Other considerations.....	15
5 Phases of a rehabilitation project.....	15
5.1 General.....	15
5.2 Decision on organization.....	17
5.2.1 General .....	17
5.2.2 Expertise required .....	17
5.2.3 Contract arrangement.....	17
5.3 Level of assessment and determination of scope .....	18
5.3.1 General .....	18
5.3.2 Feasibility study – Stage 1.....	18
5.3.3 Feasibility study – Stage 2.....	19
5.3.4 Detailed study.....	19
5.4 Contractual issues .....	23
5.4.1 General .....	23
5.4.2 Specification requirements.....	23
5.4.3 Tendering documents and evaluation of tenders .....	24
5.4.4 Contract award(s) .....	24
5.5 Execution of project .....	24
5.5.1 Model test activities .....	24
5.5.2 Design, construction, installation and testing .....	25
5.6 Evaluation of results and compliance with guarantees.....	25
5.6.1 General .....	25
5.6.2 Turbine performance evaluation.....	25
5.6.3 Generator performance evaluation.....	26
5.6.4 Penalties and/or bonuses assessment.....	26
6 Scheduling, cost analysis and risk analysis .....	26
6.1 Scheduling.....	26
6.1.1 General .....	26
6.1.2 Scheduling – Assessment, feasibility and detailed study phases.....	27
6.1.3 Evaluating the scheduling component of alternatives .....	27
6.1.4 Scheduling specification and tendering phase .....	28
6.1.5 Scheduling project execution phases .....	28
6.2 Economic and financial analyses .....	29

6.2.1	General .....	29
6.2.2	Benefit-cost analysis.....	29
6.2.3	Identification of anticipated benefits.....	30
6.2.4	Identification of anticipated costs and benefits.....	31
6.2.5	Sensitivity analysis .....	32
6.2.6	Conclusions.....	32
6.3	Risk analysis.....	32
6.3.1	General .....	32
6.3.2	Non-achievement of performance risk.....	33
6.3.3	Risk of continued operation without rehabilitation .....	33
6.3.4	Extension of outage risk .....	34
6.3.5	Financial risks .....	34
6.3.6	Project scope risk .....	34
6.3.7	Other risks.....	35
7	Assessment and determination of scope of the work.....	35
7.1	General.....	35
7.2	Assessment of the site.....	36
7.2.1	Hydrology .....	36
7.2.2	Actual energy production .....	36
7.2.3	Environmental, social and regulatory issues .....	37
7.3	The assessment of the turbine .....	37
7.3.1	General .....	37
7.3.2	Turbine integrity assessment .....	38
7.3.3	Residual life.....	49
7.3.4	Turbine performance assessment .....	58
7.4	The assessment of related equipment.....	78
7.4.1	General .....	78
7.4.2	Generator and thrust bearing .....	79
7.4.3	Turbine governor .....	79
7.4.4	Turbine inlet and outlet valves, pressure relief valve.....	80
7.4.5	Auxiliary equipment .....	80
7.4.6	Equipment for erection, dismantling and maintenance .....	81
7.4.7	Penstock and other water passages .....	81
7.4.8	Consequences of changes in plant specific hydraulic energy (head).....	81
7.4.9	Grid integration.....	82
8	Hydraulic design and performance testing options .....	82
8.1	General.....	82
8.2	Computational hydraulic design .....	83
8.2.1	General .....	83
8.2.2	The role of CFD.....	83
8.2.3	The process of a CFD cycle.....	84
8.2.4	The accuracy of CFD results.....	84
8.2.5	How to use CFD for rehabilitation .....	85
8.2.6	CFD versus model tests.....	85
8.3	Model tests .....	86
8.3.1	General .....	86
8.3.2	Model test similitude .....	87
8.3.3	Model test content .....	87
8.3.4	Model test application.....	88

8.3.5	Model test location .....	90
8.4	Prototype performance test .....	90
8.4.1	General .....	90
8.4.2	Prototype performance test accuracy .....	91
8.4.3	Prototype performance test types .....	92
8.4.4	Evaluation of results .....	92
9	Specifications .....	93
9.1	General.....	93
9.2	Reference standards.....	93
9.3	Information to be included in the tender documents .....	94
9.4	Documents to be developed in the course of the project .....	95
Annex A (informative)	Check-list for evaluation of existing turbine .....	98
Annex B (informative)	Assessment examples.....	131
B.1	General.....	131
B.2	Runner (applicable to Francis, Kaplan, propeller and Pelton).....	131
B.2.1	Documentation – available data .....	131
B.2.2	Design review.....	132
B.2.3	Inspection items .....	132
B.2.4	Assessment of inspection results .....	133
B.2.5	Current condition assessment.....	135
B.2.6	Scope of work.....	135
B.3	Stay ring .....	136
B.3.1	Documentation – available data .....	136
B.3.2	Design review.....	137
B.3.3	Inspection items .....	137
B.3.4	Assessment of inspection results .....	137
B.3.5	Current condition assessment.....	138
B.3.6	Scope of work (possible action to be taken).....	138
B.4	Guide vanes .....	139
B.4.1	Documentation – Available data.....	139
B.4.2	Design review.....	139
B.4.3	Inspection items .....	139
B.4.4	Assessment of inspection results .....	140
B.4.5	Current condition assessment.....	141
B.4.6	Scope of work.....	141
B.5	Real life example: Pelton runner with severe crack .....	142
B.5.1	Data of the Pelton runner.....	142
B.5.2	Fatigue analysis .....	142
B.5.3	Fracture-mechanics analysis .....	143
B.5.4	Results for the Pelton runner .....	144
Annex C (informative)	Checklist for evaluation of related equipment .....	145
Bibliography	.....	149
Figure 1	– Flow diagram depicting the logic of the rehabilitation process .....	16
Figure 2	– Critical zones for cracks “A” and “B” in Pelton runner buckets .....	48
Figure 3	– Bathtub curve.....	50
Figure 4	– Process of residual life estimation.....	51
Figure 5	– Schematic behaviour for the different stages in the fatigue process .....	52

Figure 6 – Start-up and full load strain gauge signal on Francis blade.....	57
Figure 7 – Relative efficiency versus relative output – Original and new runners.....	60
Figure 8 – Relative efficiency versus output – Original and new runners – Outardes 3 generating station .....	61
Figure 9 – Efficiency and distribution of losses versus specific speed for Francis turbines (model) in 2005 .....	62
Figure 10 – Relative efficiency gain following modification of the blades on the La Grande 3 runner, in Quebec, Canada.....	64
Figure 11 – Potential efficiency improvement for Francis turbine rehabilitation.....	68
Figure 12 – Potential efficiency improvement for Kaplan turbine rehabilitation .....	69
Figure 13 – Cavitation and corrosion-erosion in Francis runner.....	70
Figure 14 – Back side erosion of the entrance into a Pelton bucket.....	71
Figure 15 – Leading edge cavitation erosion on a Francis pump-turbine caused by extended periods of operation at very low loads.....	72
Figure 16 – Severe particle erosion damage in a Francis runner .....	73
Table 1 – Expected life of a hydropower plant and its subsystems before major work .....	13
Table 2 – Typical routine inspections .....	39
Table 3 – Example of a rating system for the inspection results .....	55
Table 4 – Example of a typical list of turbine components for Francis and Kaplan with different weight factors $X_1$ to $X_7$ based on relative importance.....	56
Table 5 – Example of rating of a single component assessment including three assessment criteria.....	56
Table 6 – Francis turbine potential efficiency improvement (%) for runner profile modifications only .....	63
Table 7 – Potential impact of design and condition of runner seals on Francis turbine efficiency with new replacement runner or rehabilitated runner (%).....	65
Table 8 – Potential total gain in efficiency from the replacement of a Francis turbine runner including the blade profile improvements, the restoration of surface condition and the reduction of seal losses.....	66
Table 9 – Potential additional efficiency improvement by rehabilitation/replacement of other water passage components on a Francis turbine (%) .....	66
Table A.1 – Assessment of turbine embedded parts – Stay ring.....	98
Table A.2 – Assessment of turbine embedded parts – Spiral or semi-spiral case .....	99
Table A.3 – Assessment of turbine embedded parts – Discharge ring .....	100
Table A.4 – Assessment of turbine embedded parts – Draft tube .....	102
Table A.5 – Assessment of turbine non-embedded, non-rotating parts – Headcover .....	104
Table A.6 – Assessment of turbine non-embedded, non-rotating parts – Intermediate and inner headcovers .....	107
Table A.7 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Bottom ring .....	108
Table A.8 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Guide vanes.....	110
Table A.9 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Guide vane operating mechanism.....	112
Table A.10 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Operating ring.....	113
Table A.11 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Servomotors.....	114

Table A.12 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Guide bearings.....	115
Table A.13 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Turbine shaft seal (mechanical seal or packing box) .....	117
Table A.14 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Thrust bearing support.....	117
Table A.15 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Nozzles .....	118
Table A.16 – Assessment of turbine non embedded, non-rotating parts – Deflectors and energy dissipation .....	119
Table A.17 – Assessment of turbine rotating parts – Runner .....	120
Table A.18 – Assessment of turbine rotating parts – Runner .....	123
Table A.19 – Assessment of turbine rotating parts – Runner .....	125
Table A.20 – Assessment of turbine rotating parts – Turbine shaft.....	126
Table A.21 – Assessment of turbine rotating parts – Oil head and oil distribution pipes .....	127
Table A.22 – Assessment of turbine auxiliaries – Speed and load regulation system (governor).....	128
Table A.23 – Assessment of turbine auxiliaries – Turbine aeration system.....	129
Table A.24 – Assessment of turbine auxiliaries – Lubrication system (guide vane mechanism) .....	130
Table C.1 – Assessment of related equipment – Governor .....	145
Table C.2 – Assessment of related equipment – Generator and thrust bearing.....	146
Table C.3 – Assessment of related equipment – Penstock and turbine inlet valves .....	147
Table C.4 – Assessment of related equipment – Civil works.....	148
Table C.5 – Assessment of related equipment – Crane, erection equipment .....	148

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES –  
REHABILITATION AND PERFORMANCE IMPROVEMENT**

## 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.

International Standard IEC 62256 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2008. This edition constitutes a technical revision.

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

- Tables 2 to 23 modified, completed and moved to Annex A;
- 7.3.2:
  - subclauses moved with text changes;
  - new subclauses on temperature, noise, galvanic corrosion, galling and replacement of components without assessment;
- 7.3.3: complete new subclause on residual life;
- Tables 29 to 32 moved to Annex C;
- new Annex B with assessment examples.

This bilingual version (2017-12) corresponds to the monolingual English version, published in 2017-05.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
4/323/FDIS	4/326/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

The French version of this standard has not been voted upon.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://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 publication 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

Hydro plant owners make significant investments annually in rehabilitating plant equipment (turbines, generators, transformers, penstocks, gates etc.) and structures in order to improve the level of service to their customers and to optimize their revenue. In the absence of guidelines, owners may be spending needlessly, or may be taking unnecessary risks and thereby achieving results that are less than optimal. This document is intended to be a tool in the optimisation and decision process.

Edition 1 of this International Standard was based on the IEA document *Guidelines on Methodology for Hydroelectric Francis Turbine Upgrading by Runner Replacement*.

# HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES – REHABILITATION AND PERFORMANCE IMPROVEMENT

## 1 Scope

This document covers turbines, storage pumps and pump-turbines of all sizes and of the following types:

- Francis;
- Kaplan;
- propeller;
- Pelton (turbines only);
- bulb turbines.

This document also identifies without detailed discussion, other powerhouse equipment that could affect or be affected by a turbine, storage pump, or pump-turbine rehabilitation.

The object of this document is to assist in identifying, evaluating and executing rehabilitation and performance improvement projects for hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines. This document can be used by owners, consultants, and suppliers to define:

- needs and economics for rehabilitation and performance improvement;
- scope of work;
- specifications;
- evaluation of results.

This document is intended to be:

- an aid in the decision process;
- an extensive source of information on rehabilitation;
- an identification of the key milestones in the rehabilitation process;
- an identification of the points to be addressed in the decision processes.

This document is not intended to be a detailed engineering manual nor a maintenance document.

## 2 Normative references

There are no normative references in this document.

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	157
INTRODUCTION.....	159
1 Domaine d'application .....	160
2 Références normatives .....	160
3 Termes, définitions et nomenclature .....	160
4 Raisons d'une réhabilitation.....	162
4.1 Généralités .....	162
4.2 Augmentation de la fiabilité et de la disponibilité.....	164
4.3 Augmentation de la durée de vie et rétablissement des performances .....	165
4.4 Amélioration des performances.....	165
4.5 Amélioration de la sécurité de la centrale.....	165
4.6 Aspects environnementaux, sociaux et réglementaires .....	166
4.7 Réduction des coûts d'entretien et d'exploitation.....	166
4.8 Autres considérations .....	166
5 Phases d'un projet de réhabilitation .....	166
5.1 Généralités .....	166
5.2 Choix de l'organisation.....	167
5.2.1 Généralités.....	167
5.2.2 Expertise exigée.....	168
5.2.3 Mise en place du contrat.....	168
5.3 Niveau d'évaluation et détermination de l'envergure des travaux .....	169
5.3.1 Généralités.....	169
5.3.2 Étude de faisabilité – Étape 1.....	170
5.3.3 Étude de faisabilité – Étape 2.....	170
5.3.4 Étude détaillée.....	170
5.4 Éléments contractuels.....	175
5.4.1 Généralités.....	175
5.4.2 Exigences de spécification.....	175
5.4.3 Documents d'appel d'offres et évaluation des offres .....	176
5.4.4 Attribution du contrat .....	177
5.5 Exécution du projet.....	177
5.5.1 Activités liées à l'essai sur modèle .....	177
5.5.2 Conception, construction, installation et essais.....	177
5.6 Évaluation des résultats et conformité aux garanties.....	178
5.6.1 Généralités.....	178
5.6.2 Évaluation des performances de la turbine .....	178
5.6.3 Évaluation des performances de l'alternateur .....	179
5.6.4 Estimation des pénalités et/ou des primes .....	179
6 Planification, analyse des coûts et analyse des risques .....	179
6.1 Planification .....	179
6.1.1 Généralités.....	179
6.1.2 Planification – Phases d'évaluation, de faisabilité et d'étude détaillée.....	180
6.1.3 Évaluation de la composante planification des différentes options .....	180
6.1.4 Planification de la phase spécification et d'appel d'offres.....	181
6.1.5 Planification des phases d'exécution du projet.....	181
6.2 Analyses économiques et financières .....	182

6.2.1	Généralités .....	182
6.2.2	Analyse des coûts et bénéfices .....	182
6.2.3	Identification des bénéfices anticipés .....	183
6.2.4	Identification des coûts et bénéfices anticipés .....	184
6.2.5	Analyse de sensibilité .....	186
6.2.6	Conclusions .....	186
6.3	Analyse des risques .....	186
6.3.1	Généralités .....	186
6.3.2	Risque de non-obtention des performances .....	187
6.3.3	Risque d'une exploitation prolongée sans réhabilitation .....	187
6.3.4	Risque de prolongement d'indisponibilité .....	188
6.3.5	Risques financiers .....	188
6.3.6	Risque lié à l'envergure des travaux .....	189
6.3.7	Autres risques .....	189
7	Évaluation et détermination de l'envergure des travaux .....	190
7.1	Généralités .....	190
7.2	Évaluation du site .....	190
7.2.1	Hydrologie .....	190
7.2.2	Production énergétique réelle .....	191
7.2.3	Questions environnementales, sociales et réglementaires .....	191
7.3	Évaluation de l'état de la turbine .....	192
7.3.1	Généralités .....	192
7.3.2	Évaluation de l'intégrité de la turbine .....	193
7.3.3	Durée de vie résiduelle .....	206
7.3.4	Évaluation des performances de la turbine .....	217
7.4	Évaluation de l'équipement connexe .....	240
7.4.1	Généralités .....	240
7.4.2	Alternateur et pivot .....	241
7.4.3	Régulateur de la turbine .....	242
7.4.4	Vannes de garde turbine amont et aval et vanne déchargeur .....	243
7.4.5	Équipements auxiliaires .....	243
7.4.6	Équipement de montage, de démontage et d'entretien .....	244
7.4.7	Conduite forcée et autres passages hydrauliques .....	244
7.4.8	Conséquences des changements dans l'énergie hydraulique massique (chute) de la centrale .....	244
7.4.9	Intégration au réseau .....	245
8	Conception hydraulique et choix des essais de performance .....	245
8.1	Généralités .....	245
8.2	Conception hydraulique par calcul .....	246
8.2.1	Généralités .....	246
8.2.2	Rôle des calculs numériques pour la dynamique des fluides (CFD) .....	247
8.2.3	Processus d'un cycle CFD .....	247
8.2.4	Précision des résultats CFD .....	248
8.2.5	Utilisation des CFD pour la réhabilitation .....	248
8.2.6	Comparaison entre CFD et essais sur modèle .....	249
8.3	Essais sur modèle .....	250
8.3.1	Généralités .....	250
8.3.2	Similitude de l'essai sur modèle .....	251
8.3.3	Contenu de l'essai sur modèle .....	251

8.3.4	Application de l'essai sur modèle .....	252
8.3.5	Lieu de l'essai sur modèle .....	254
8.4	Essai de performance du prototype .....	255
8.4.1	Généralités .....	255
8.4.2	Précision des essais de performance du prototype .....	255
8.4.3	Types d'essais de performance du prototype .....	256
8.4.4	Évaluation des résultats.....	257
9	Spécifications .....	257
9.1	Généralités .....	257
9.2	Normes de référence .....	258
9.3	Informations à inclure dans les documents d'appel d'offres .....	259
9.4	Documents à produire en cours d'exécution du projet .....	260
Annexe A (informative) Liste de vérification pour l'évaluation de la turbine existante .....		263
Annexe B (informative) Exemples d'évaluation.....		303
B.1	Généralités .....	303
B.2	Roue (applicable aux turbines Francis, Kaplan, hélice et Pelton) .....	303
B.2.1	Documentation – Données disponibles .....	303
B.2.2	Revue de conception .....	304
B.2.3	Points à examiner.....	304
B.2.4	Évaluation des résultats d'inspection .....	305
B.2.5	Évaluation de l'état actuel.....	307
B.2.6	Envergure des travaux.....	307
B.3	Avant-distributeur .....	309
B.3.1	Documentation – Données disponibles .....	309
B.3.2	Revue de conception .....	310
B.3.3	Points d'inspection .....	310
B.3.4	Évaluation des résultats d'inspection .....	310
B.3.5	Évaluation de l'état actuel.....	311
B.3.6	Envergure des travaux (action possible à réaliser).....	311
B.4	Directrices .....	312
B.4.1	Documentation – Données disponibles .....	312
B.4.2	Revue de conception .....	313
B.4.3	Points d'inspection .....	313
B.4.4	Évaluation des résultats d'inspection .....	313
B.4.5	Évaluation de l'état actuel.....	315
B.4.6	Envergure des travaux.....	315
B.5	Exemple concret: Roue Pelton avec une fissure sévère .....	316
B.5.1	Données de la roue Pelton: .....	316
B.5.2	Analyse de fatigue .....	316
B.5.3	Analyse des mécaniques de la rupture .....	318
B.5.4	Résultats pour la roue Pelton.....	318
Annexe C (informative) Liste de vérification pour l'évaluation de l'équipement connexe .....		320
Bibliographie.....		324
Figure 1 – Ordinoigramme décrivant la logique du processus de réhabilitation.....		167
Figure 2 – Régions critiques pour les fissures "A" et "B" dans les augets de roues Pelton .....		205
Figure 3 – Courbe en baignoire.....		207

Figure 4 – Processus d'estimation de la durée de vie résiduelle.....	208
Figure 5 – Comportement schématique aux différents stades du processus de fatigue .....	209
Figure 6 – Signal de jauge de contrainte au démarrage et à pleine charge sur une aube de turbine Francis .....	216
Figure 7 – Rendement relatif versus puissance relative – Roue d'origine et roue neuve.....	219
Figure 8 – Rendement relatif versus puissance – Roue d'origine et roue neuve – Centrale aux Outardes-3.....	220
Figure 9 – Rendement et distribution des pertes en fonction de la vitesse spécifique pour les turbines Francis (modèle) en 2005 .....	221
Figure 10 – Gain de rendement relatif suite à la modification des aubes sur la roue de La Grande 3, Québec, Canada.....	223
Figure 11 – Amélioration de rendement potentielle attendue de la réhabilitation d'une turbine Francis.....	228
Figure 12 – Amélioration de rendement potentielle attendue d'une réhabilitation de turbine Kaplan .....	229
Figure 13 – Érosion par cavitation et par corrosion dans une roue Francis.....	231
Figure 14 – Érosion de la face extérieure à l'entrée d'un auget Pelton .....	232
Figure 15 – Érosion par cavitation sur le bord d'attaque d'une aube de pompe-turbine Francis causée par une exploitation à très faible charge pendant de longues périodes .....	233
Figure 16 – Dommages sévères dus à l'érosion par particules dans une roue Francis .....	235
Tableau 1 – Espérance de vie d'une centrale hydroélectrique et de ses sous-systèmes avant travaux de grande ampleur .....	164
Tableau 2 – Inspections régulières typiques .....	194
Tableau 3 – Exemple de système de notation pour les résultats d'inspection .....	213
Tableau 4 – Exemple de liste typique de composants de turbine Francis et Kaplan avec différents facteurs de pondération $X_1$ à $X_7$ en fonction de l'importance relative .....	214
Tableau 5 – Exemple de classement de l'évaluation d'un seul composant incluant trois critères d'évaluation.....	214
Tableau 6 – Amélioration potentielle du rendement d'une turbine Francis (%) correspondant uniquement à des modifications du profil de roue .....	222
Tableau 7 – Impact potentiel de la conception et de l'état des labyrinthes de roue sur le rendement des turbines Francis lors d'un remplacement de roue ou de sa réhabilitation (%) .....	225
Tableau 8 – Gain total potentiel attendu d'un remplacement de roue de turbine Francis, incluant l'amélioration du profil des aubes, de la restauration de l'état de surface et de la réduction des pertes aux labyrinthes .....	226
Tableau 9 – Amélioration de rendement supplémentaire potentielle attendue d'une réhabilitation/d'un remplacement d'autres composants de passage hydraulique d'une turbine Francis (%) .....	226
Tableau A.1 – Évaluation des pièces fixes scellées de la turbine – Avant-distributeur.....	264
Tableau A.2 – Évaluation des pièces fixes scellées de la turbine – Bâche spirale ou bâche semi-spirale.....	265
Tableau A.3 – Évaluation des pièces fixes scellées de la turbine – Ceinture de sortie.....	266
Tableau A.4 – Évaluation des pièces fixes scellées de la turbine – Aspirateur .....	268
Tableau A.5 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Flasque supérieur.....	269
Tableau A.6 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Flasques intermédiaire et intérieur .....	273

Tableau A.7 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Flasque inférieur.....	275
Tableau A.8 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Directrices .....	277
Tableau A.9 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Mécanisme de vannage .....	280
Tableau A.10 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Cercle de vannage.....	282
Tableau A.11 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Servomoteurs .....	283
Tableau A.12 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Paliers-guides.....	285
Tableau A.13 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Joint d'arbre de turbine (joint mécanique ou presse-étoupe) .....	287
Tableau A.14 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Support de pivot .....	288
Tableau A.15 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Injecteurs.....	289
Tableau A.16 – Évaluation des pièces démontables, non tournantes de la turbine – Déflecteurs et dissipateurs d'énergie .....	290
Tableau A.17 – Évaluation des pièces tournantes de la turbine – Roue.....	291
Tableau A.18 – Évaluation des pièces tournantes de la turbine – Roue.....	294
Tableau A.19 – Évaluation des pièces tournantes de la turbine – Roue.....	296
Tableau A.20 – Évaluation des pièces tournantes de la turbine – Arbre de turbine.....	297
Tableau A.21 – Évaluation des pièces tournantes de la turbine – Tête d'alvéoles et conduits de distribution d'huile .....	299
Tableau A.22 – Évaluation des auxiliaires de la turbine – Régulateur de vitesse et de puissance (régulateur) .....	300
Tableau A.23 – Évaluation des auxiliaires de la turbine – Système d'aération de la turbine .....	301
Tableau A.24 – Évaluation des auxiliaires de la turbine – Système de graissage (mécanisme d'entraînement de la directrice).....	302
Tableau C.1 – Évaluation de l'équipement connexe – Régulateur .....	320
Tableau C.2 – Évaluation de l'équipement connexe – Alternateur et pivot.....	321
Tableau C.3 – Évaluation de l'équipement connexe – Conduite forcée et soupapes d'admission de la turbine .....	322
Tableau C.4 – Évaluation de l'équipement connexe – Ouvrages civils.....	323
Tableau C.5 – Évaluation de l'équipement connexe – Pont roulant, équipement de montage .....	323

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES  
D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES –  
RÉHABILITATION ET AMÉLIORATION DES PERFORMANCES**

## 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 et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62256 a été établie par le comité d'études 4 de l'IEC: Turbines hydrauliques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2008. Cette édition constitue une révision technique.

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

- modifications et amélioration des Tableaux 2 à 23 et déplacement de ceux-ci en Annexe A
- 7.3.2:
  - Sous-paragraphes modifiés et déplacés;



- nouveaux sous-paragraphe sur la température, la corrosion galvanique, le grippage et le remplacement de composants sans évaluation;
- 7.3.3 sur la durée de vie résiduelle: complètement nouveau;
- Tableaux 29 à 32 déplacés en Annexe C;
- nouvelle Annexe B avec exemples d'évaluation.

La présente version bilingue (2017-12) correspond à la version anglaise monolingue publiée en 2017-05.

Le texte anglais de cette norme est issu des documents 4/323/FDIS et 4/326/RVD.

Le rapport de vote 4/326/RVD donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

La version française de cette norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

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

## INTRODUCTION

Les propriétaires de centrales hydroélectriques consentent d'importants investissements chaque année pour réhabiliter des équipements (turbines, alternateurs, transformateurs, conduites forcées, vannes, etc.) et leurs structures afin d'améliorer le niveau de service apporté à leurs clients et optimiser leurs revenus. En l'absence de lignes directrices, les propriétaires peuvent subir des dépenses ou peuvent être exposés à des risques inutiles, et ainsi atteindre des résultats non optimaux. Le présent document constitue un outil dans le cadre du processus d'optimisation et de décision.

La première édition de cette Norme internationale s'appuyait sur la publication suivante de l'Agence Internationale de l'Energie (IEA): *Guidelines on Methodology for Hydroelectric Francis Turbine Upgrading by Runner Replacement* (disponible en anglais seulement).

## **TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES – RÉHABILITATION ET AMÉLIORATION DES PERFORMANCES**

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

Le domaine d'application du présent document comprend les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines de toutes tailles et des types suivants:

- Francis;
- Kaplan;
- hélice;
- Pelton (turbines seulement);
- bulbe.

Le présent document identifie également, sans fournir d'éléments détaillés, les autres équipements des centrales qui pourraient affecter ou être affectés par la réhabilitation des turbines hydrauliques, des pompes d'accumulation ou des pompes-turbines.

Le présent document a pour objet de fournir une aide à l'identification, à l'évaluation et à l'exécution de projets de réhabilitation et d'amélioration des performances de turbines hydrauliques, de pompes d'accumulation et de pompes-turbines. Le présent document peut être utilisé par les propriétaires, les consultants et les fournisseurs pour définir:

- les besoins et les aspects financiers liés à la réhabilitation et à l'amélioration des performances;
- l'envergure des travaux;
- les spécifications;
- l'évaluation des résultats.

Le présent document se veut:

- une aide au processus de décision;
- une bonne source d'informations en matière de réhabilitation;
- un indicateur des étapes-clés du processus de réhabilitation;
- un indicateur des éléments qu'il convient de prendre en considération dans le processus de décision.

Le présent guide n'est pas un manuel d'ingénierie détaillé, ni un guide d'entretien.

### **2 Références normatives**

Le présent document ne contient aucune référence normative.