



# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**Hydraulic machines, radial and axial – Methodology for performance  
transposition from model to prototype**

**Machines hydrauliques, radiales et axiales – Méthodologie de transposition des  
performances du modèle au prototype**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

---

ICS 27.140

ISBN 978-2-8322-6277-1

**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.....	10
0.1    General remarks .....	10
0.2    Basic features .....	11
1    Scope.....	12
2    Normative references .....	12
3    Terms, definitions, units, subscripts and symbols .....	12
3.1    Terms and definitions.....	12
3.2    List of definitions by topic .....	13
3.3    Subscripts and symbols .....	14
3.4    Geometric terms .....	15
3.5    Physical quantities and properties.....	15
3.6    Discharge, velocity and speed terms.....	16
3.7    Pressure terms .....	16
3.8    Specific energy terms .....	16
3.9    Head terms .....	17
3.10   Power and torque terms .....	18
3.11   Efficiency terms .....	19
3.12   Fluid dynamics and scaling terms .....	20
3.13   Dimensionless terms.....	20
4    Scale-effect formula .....	22
4.1    General.....	22
4.1.1    Scalable losses .....	22
4.1.2    Basic formulae of the scale effect on hydrodynamic friction losses .....	23
4.2    Specific hydraulic energy efficiency .....	25
4.2.1    General .....	25
4.2.2    Radial flow machines.....	26
4.2.3    Axial flow machines .....	26
4.3    Volumetric efficiency.....	26
4.4    Power efficiency (disk friction) .....	27
4.4.1    Radial flow machines.....	27
4.4.2    Axial flow machines .....	27
5    Surface roughness of model and prototype.....	28
5.1    General.....	28
5.2    Measurement of surface roughness .....	28
5.2.1    Procedure.....	28
5.2.2    Roughness of model and prototype.....	29
5.2.3    Measurement of very rough surfaces .....	30
5.3    Surface roughness ranges .....	30
6    Standardized values of scalable losses and pertinent parameters .....	32
6.1    General.....	32
6.2    Specific speed .....	33
6.3    Parameters for specific hydraulic energy efficiency transposition .....	33
6.3.1    General .....	33
6.3.2    Francis turbines.....	33
6.3.3    Pump-turbines .....	34

6.3.4	Axial flow machines .....	34
6.4	Parameters for power efficiency (disk friction) transposition .....	35
6.4.1	Francis turbines .....	35
6.4.2	Pump-turbines .....	35
6.4.3	Axial flow machines .....	35
7	Transposition to prototype .....	36
7.1	General .....	36
7.2	Assumed maximum hydraulic efficiency .....	37
7.3	Hydraulic efficiency .....	38
7.4	Specific hydraulic energy .....	39
7.4.1	Turbine operation .....	39
7.4.2	Pump operation .....	39
7.5	Discharge .....	40
7.5.1	Turbine operation .....	40
7.5.2	Pump operation .....	40
7.6	Torque .....	40
7.6.1	Turbine operation .....	40
7.6.2	Pump operation .....	40
7.7	Power .....	41
7.7.1	Turbine operation .....	41
7.7.2	Pump operation .....	41
8	Calculation procedure .....	41
8.1	General .....	41
8.2	Reference model .....	42
8.3	Comparison of different models .....	42
8.4	Normalization procedure of the test data: Step 1 .....	42
8.5	Prototype transposition procedure: Step 2 .....	44
8.6	Alternative one step method for the optimum point .....	46
8.7	required input data .....	48
Annex A (informative)	Basic formulae and their approximation .....	50
A.1	Basic concept of loss structure and scale effect .....	50
A.1.1	General .....	50
A.1.2	Loss structure and efficiency components .....	50
A.1.3	Homologous operating condition .....	52
A.1.4	Shifting of performance [6] .....	53
A.1.5	Scalable losses .....	54
A.2	Derivation of the scale effect formulae and the approximation introduced for simplifications .....	55
A.2.1	Scalable loss ratio in specific hydraulic energy $\delta_E$ and specific hydraulic energy efficiency $\eta_E$ .....	55
A.2.2	Transposition of specific hydraulic energy efficiency $\eta_E$ .....	56
A.2.3	Transposition of volumetric efficiency $\eta_Q$ .....	58
A.2.4	Transposition of power efficiency (disk friction) $\eta_T$ .....	59
Annex B (informative)	Scale effect on specific hydraulic energy losses of radial flow machines .....	61
B.1	Scale effect on friction loss .....	61
B.1.1	Scale effect on friction loss coefficient .....	61

B.1.2	Relationship between sand roughness $k_s$ and arithmetical mean roughness $Ra$ .....	63
B.2	Componentwise transposition of specific hydraulic energy efficiency .....	63
B.2.1	Friction loss coefficient of each component [9].....	63
B.2.2	Derivation of the scale effect formula for component wise transposition.....	66
B.3	Standardized relative scalable hydraulic energy loss of radial flow machines.....	67
B.3.1	Definition .....	67
B.3.2	Standardized relative scalable hydraulic energy loss $\delta_E$ of Francis turbine .....	68
B.3.3	Standardized relative scalable hydraulic energy loss $\delta_E$ of reversible pump-turbine .....	70
B.4	Flow velocity factor $\kappa_{uCO}$ and dimension factor $\kappa_{dCO}$ of radial flow machines [9] .....	71
B.4.1	Definition .....	71
B.4.2	$\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ for Francis turbine.....	71
B.4.3	$\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ for pump-turbine .....	73
B.5	Standardized scalable loss index $d_{ECOref}$ .....	76
B.5.1	Definition .....	76
B.5.2	Standardized $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for Francis turbine .....	76
B.5.3	Standardized $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for pump-turbine .....	77
Annex C (informative)	Scale effect on specific hydraulic energy losses of axial flow machines [9] .....	79
C.1	Scalable losses of axial flow machines .....	79
C.2	Scale effect formula for runner blades [8].....	79
C.3	Scale effect formula for stationary parts .....	80
C.4	Scale effect for other efficiency components .....	81
C.4.1	Volumetric efficiency.....	81
C.4.2	Power efficiency (disk friction) .....	81
C.5	Scale effect of hydraulic efficiency .....	81
C.6	Determination of $\delta_{ECOref}$ of axial flow turbines.....	81
C.7	Determination of $\delta_{ECOref}$ of bulb turbines .....	82
C.8	Derivation of scalable hydraulic energy loss index, $d_{Eref}$ .....	83
C.8.1	Scalable loss index for runner blades .....	83
C.8.2	Scalable loss index for stationary parts.....	83
C.9	Summary of the scale effect formula for axial flow machines.....	84
Annex D (informative)	Scale effect on disk friction loss .....	85
D.1	Loss coefficient formula for disk friction .....	85
D.2	Transposition formula for power efficiency .....	86
D.3	Standardized dimension factor $\kappa_T$ and disk friction loss index $d_{Tref}$ .....	87
D.3.1	Disk friction loss ratio $\delta_{Tref}$ .....	87
D.3.2	Dimension factor of the disk $\kappa_T$ .....	88
D.3.3	Disk friction loss index $d_{Tref}$ .....	89
Annex E (informative)	Comparison of IEC 60193 and IEC 62097 hydraulic efficiency transposition methods for reaction machines .....	91

E.1	IEC 60193 transposition method .....	91
E.1.1	Applications .....	91
E.1.2	Limitations .....	91
E.2	IEC 62097 transposition method .....	91
E.2.1	Applications .....	91
E.2.2	Limitations .....	91
Annex F (informative)	Leakage loss evaluation for non homologous seals .....	93
F.1	Loss coefficient of runner seal .....	93
F.2	General formula to obtain $\Delta\eta_Q$ for non-homologous seal .....	97
F.3	Evaluation of scale effect in case of a homologous straight seal .....	97
F.4	Straight seal with non-homologous radial clearance .....	98
Annex G (normative)	Guide for detailed calculations by means of the attached Excel workbook .....	100
G.1	Normalization of test data: Step 1 of the “2 step method” .....	100
G.2	Prototype transposition: Step 2 of the “2 step method” .....	101
G.3	Alternative one step method for the optimum point.....	102
Annex H (informative)	Example of a calculation with the attached Excel workbook.....	104
H.1	Cover page .....	104
H.2	Example of STEP 1 for a Pump-Turbine in Turbine Mode.....	105
H.2.1	« Input Form » data sheet for step 1 .....	105
H.2.2	Results for Step 1 .....	107
H.3	Example of STEP 2 for a Pump-Turbine in Turbine Mode.....	115
H.3.1	« Input Form » data sheet for step 2 .....	115
H.3.2	Results for Step 2 .....	117
Bibliography.....		125
Figure 1 – Scale effect considering surface roughness .....		24
Figure 2 – Impact of surface roughness on turbine efficiency and costs .....		28
Figure 3 – Surface roughness regions for Francis runner blades.....		31
Figure 4 – Surface roughness region for axial flow runner blade .....		32
Figure 5 – Normalization of test data from $Re_{M_i}$ to $Re_{M^*}$ and $Re_{M^*}$ to $Re_P$ .....		36
Figure 6 – Reference Assumed maximum hydraulic efficiency .....		38
Figure 7 – Calculation procedure: “Two step method”: First step – From model to reference model.....		43
Figure 8 – Calculation procedure: “Two step method”: Second step – From reference model to prototype .....		45
Figure 9 – Calculation procedure: Alternative one step method for the optimum point from model to prototype .....		47
Figure A.1 – Flux diagram for a turbine .....		51
Figure A.2 – Flux diagram for a pump .....		52
Figure B.1 – Loss coefficient versus Reynolds number and surface roughness .....		62
Figure B.2 – Different characteristics of $\lambda$ in transition zone .....		62
Figure B.3 – Representative dimensions of component passages .....		65
Figure B.4 – Standardized relative scalable hydraulic energy loss in each component of Francis turbine.....		69
Figure B.5 – Standardized relative scalable hydraulic energy loss in each component of pump-turbine in turbine operation .....		70

Figure B.6 – Standardized relative scalable hydraulic energy loss in each component of pump-turbine in pump operation.....	71
Figure B.7 – $\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ in each component of Francis turbine .....	72
Figure B.8 – $\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ in each component of pump-turbine in turbine operation .....	74
Figure B.9 – $\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ in each component of pump-turbine in pump operation.....	75
Figure B.10 – Standardized $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for Francis turbine.....	76
Figure B.11 – Standardized $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for pump-turbine in turbine operation .....	77
Figure B.12 – Standardized $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for pump-turbine in pump-operation .....	78
Figure C 1 – $\delta_{ECOref}$ for Kaplan turbines .....	82
Figure D.1 – Disk friction loss reference ratio $\delta_{Tref}$ .....	88
Figure D.2 – Dimension factor $\kappa_T$ .....	89
Figure D.3 – Disk friction loss index $d_{Tref}$ .....	90
Figure F.1 – Examples of typical design of runner seals (crown side) .....	95
Figure F.2 – Examples of typical design of runner seals (band side) .....	96
Table 1 – Permissible deviation of the geometry of model seals from the prototype .....	27
Table 2 – Recommended roughness range for the model.....	30
Table 3 – Minimum recommended prototype roughness for new radial or diagonal machines .....	31
Table 4 – Maximum recommended prototype roughness for new radial or diagonal machines .....	31
Table 5 – Minimum recommended prototype roughness for new axial turbines.....	32
Table 6 – Maximum recommended prototype roughness for new axial turbines.....	32
Table 7 – Standardized scalable loss index $d_{ECOref}$ and standardized velocity factor $\kappa_{uCO}$ for Francis turbines.....	33
Table 8 – Standardized scalable loss index $d_{ECOref}$ and standardized velocity factor $\kappa_{uCO}$ for pump-turbines in turbine operation.....	34
Table 9 – Standardized scalable loss index $d_{ECOref}$ and standardized velocity factor $\kappa_{uCO}$ for pump-turbines in pump operation.....	34
Table 10 – Standardized scalable loss index $d_{ECOref}$ and velocity factor $\kappa_{uCO}$ for axial flow machines.....	34
Table 11 – Calculation of $\eta_{hAmaxMref}$ .....	37
Table 12 – Reference roughness of the reference model, $Ra_{COMref}$ .....	42
Table 13 – Required input data for the calculation of the prototype performance.....	48
Table A.1 – Definitions of scalable loss ratios .....	56
Table A.2 – Definitions of transposition of specific energy .....	57
Table A.3 – Definitions of transposition of volumetric efficiency .....	58
Table A.4 – Definitions of power efficiency transposition terms .....	59
Table C.1 – Ratio of $\frac{d_{EST}}{\delta_{EST}}$ for Francis turbines and pump-turbines .....	84

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

### HYDRAULIC MACHINES, RADIAL AND AXIAL – METHODOLOGY FOR PERFORMANCE TRANSPOSITION FROM MODEL TO PROTOTYPE

#### 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 62097 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2009. This edition constitutes an editorial and technical revision.

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

- a) In introduction, clarifications have been brought such as addition of a sentence which declares the precedence of IEC 62097 over IEC 60193 if any mismatch is found between them
- b) In Clauses 3 and 4, corrections of the typographical errors
- c) In Clause 3: changes to be in accordance with presentation of the terms and structure of IEC 60193 (except for the water temperature)
- d) In Clause 4:
  - Deletion of the clause providing the direct step-up procedures for a whole turbine

- Introduction of a global view by using turbine A and turbine B instead of model turbine, reference model turbine and prototype turbine
  - Move of section dealing with “surface roughness of model and prototype” in a new Clause 5
- e) In Clause 5:
- Introduction of additional chapters to answer comments raised at the CDV stage and to clarify the subject of surface roughness of model and prototype
  - Introduction of new tables for minimum recommended prototype roughness for new radial or diagonal machines and for new axial turbines
  - Addition of the explanation about roughness measurement of heavily rusted surface
- f) In Clause 7 (former Clause 6):
- Introduction of a new subclause for clarifications about the assumed maximum hydraulic efficiency,  $\eta_{hAmax}$
  - Deletion of the requirement of mutual agreement for the application of the step-up formula for very high efficiency machines exceeding  $\eta_{hAmax}$
  - Clarifications of the equations from 22 to 33 by doubling the equations for suiting the “two step method”
- g) In Clauses 6 and 7, correction of typographical errors
- h) In Clause 8 (former Clause 7), introduction of new figures for clarifying the “2 step method” and the alternative method
- i) In Annex A, modification of the flux diagram to be in compliance with IEC 60193
- j) In Annex B:
- Correction of the equation to obtain  $\Delta_{ECO}$
  - Deletion of the clause which describes the direct step-up procedures for radial flow machines
- k) In Annex C, deletion of the clause which describes the direct step-up procedures for axial flow machines
- l) In Annex D:
- notes become main text
  - change of variable names in Subclause D.1 for clarifications
- m) Addition of Annex E, about comparison of IEC standards dealing with models: 60193 and 62097
- n) In Annex F, clarifications of equations by adding more subscripts
- o) The Excel sheets attached to the standard are revised as itemized below
- Deletion of the routine regarding the direct step-up procedures for a whole turbine
  - Deletion of the notice which requires mutual agreement when the step-up is applied to high efficiency machines exceeding  $\eta_{hAmax}$
  - Addition of the routine to process the normalization of test data obtained at optimum test conditions
- p) Simplification of structure, calculation of optimum and individual point, step up calculation with  $\eta_{hAmax}$



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

FDIS	Report of voting
4/359/FDIS	4/364/RVD

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

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

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

### 0.1 General remarks

IEC 62097 forms an element of a series of standards which deals with model testing of hydraulic machines. The series has two groups describing

- a) Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests (IEC 60193);
- b) Hydraulic machines, radial and axial – Performance conversion method from model to prototype (IEC 62097).

Advances in the technology of hydraulic machines for hydroelectric power plants provided background for updating and revising the scale effect methodology of IEC 60193. The advance in knowledge of scale effects originates from work done by research institutes, manufacturers and relevant working groups within the organizations of IEC and IAHR. See IEC 60193 and [1]<sup>1</sup> to [6].

The method of calculating prototype efficiencies is supported by experimental work and theoretical research on flow analysis and has been simplified for practical reasons and agreed as a convention by [7] to [9]. The methodology is representing the present state of knowledge of the transposition of performance from model to a homologous prototype.

Homology is not limited to the geometric similarity of the machine components; it also calls for homologous velocity triangles at runner inlet and outlet [1].

According to the present state of knowledge, the formula for the efficiency transposition calculation given in IEC 60193 and earlier standards often overestimates the transposition increment of the efficiency for the prototype.

Limitations and applications of performance conversion of both standards (IEC 60193 and IEC 62097) are given in Annex E.

This document is intended to be used mainly for the assessment of the results of contractual model tests of hydraulic machines. If it is used for other purposes such as evaluation of refurbishment of machines having very rough surfaces, special care is taken as described in Annex B.

Due to the lack of sufficient knowledge about the loss distribution in Deriaz turbines, multi-stage pump-turbines and storage pumps, this document does not provide the scale effect formulae for them.

An Excel workbook concerning the conversion procedures of hydraulic machine performance is attached as a complement of this document to facilitate the calculation of the scaled value for a given test point.

When using this document, if any mismatch is found with IEC 60193, the information in IEC 62097 prevails. Annex E provides additional information for performance conversion method.

---

<sup>1</sup> Numbers in square brackets refer to the bibliography.

## 0.2 Basic features

A fundamental difference compared to the IEC 60193 transposition is the standardization of scalable losses. In IEC 60193, a loss distribution factor  $V$  has been defined and standardized, with the disadvantage that turbine designs which are not optimized will benefit from their lower technological level.

This is certainly not correct, since a low efficiency design typically produces high non-scalable losses, like incidence losses, whereby the amount of scalable losses is about constant for all hydraulic machines, for a given type and a given specific speed of a hydraulic machine.

This document avoids all the inconsistencies connected with IEC 60193. A new basic feature of this document is the separate consideration of losses in specific hydraulic energy, leakage losses and disk friction losses [4], [7] to [9].

Above all, in this document, the transposition of the hydraulic performance is not only driven by the dependence of friction losses on Reynolds number  $Re$ , but also the effect of surface roughness  $Ra$  has been implemented.

Since the roughness of the actual machine component differs from part to part, scale effect is evaluated for each individual part separately and then is finally summed up to obtain the overall step-up for a complete machine [9]. For radial flow machines, the evaluation of scale effect is conducted on five separate parts; spiral case, stay vanes, guide vanes, runner and draft tube. For axial flow machines, the scalable losses in individual parts are not fully clarified yet and are dealt with in two parts; runner blades and all the other stationary parts inclusive.

The calculation procedures according to this document are summarized in Clause 8.

In case that the Excel workbook is used for evaluation of the results of a contractual model test, each concerned party executes the calculation individually for cross-check using common input data agreed on in advance for at least one test point.

## HYDRAULIC MACHINES, RADIAL AND AXIAL – METHODOLOGY FOR PERFORMANCE TRANSPOSITION FROM MODEL TO PROTOTYPE

### 1 Scope

This International Standard establishes the prototype hydraulic machine efficiency from model test results, with consideration of scale effect including the effect of surface roughness.

This document is intended to be used for the assessment of the results of contractual model tests of hydraulic machines.

### 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.

IEC 60193, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	134
INTRODUCTION.....	137
0.1 Remarques générales.....	137
0.2 Caractéristiques fondamentales.....	138
1 Domaine d'application.....	139
2 Références normatives.....	139
3 Terminologie, définitions, unités, indices et symboles.....	139
3.1 Termes et définitions.....	140
3.2 Liste des définitions par sujet.....	141
3.3 Indices et signes représentatifs.....	142
3.4 Termes géométriques.....	143
3.5 Grandeurs et propriétés physiques.....	143
3.6 Termes relatifs au débit, à la vitesse d'écoulement et à la vitesse de rotation.....	144
3.7 Termes relatifs à la pression.....	144
3.8 Termes relatifs à l'énergie massique.....	144
3.9 Termes relatifs à la hauteur géométrique et à la hauteur de charge.....	145
3.10 Termes relatifs à la puissance et au couple.....	146
3.11 Termes relatifs au rendement.....	147
3.12 Termes relatifs à la mécanique des fluides et à l'effet d'échelle.....	148
3.13 Termes adimensionnels.....	148
4 Formule d'effet d'échelle.....	150
4.1 Généralités.....	150
4.1.1 Pertes transposables.....	150
4.1.2 Formules fondamentales de l'effet d'échelle sur les pertes par frottement hydrodynamique.....	151
4.2 Rendement d'énergie hydraulique massique.....	154
4.2.1 Généralités.....	154
4.2.2 Machines à écoulement radial.....	154
4.2.3 Machines à écoulement axial.....	154
4.3 Rendement volumétrique.....	155
4.4 Rendement de puissance (frottement disque).....	155
4.4.1 Machines à écoulement radial.....	155
4.4.2 Machines à écoulement axial.....	156
5 Rugosité du modèle et du prototype.....	156
5.1 Généralités.....	156
5.2 Mesures de la rugosité de surface.....	157
5.2.1 Procédure.....	157
5.2.2 Rugosité du modèle et du prototype.....	158
5.2.3 Mesure des surfaces très rugueuses.....	158
5.3 Plages de valeurs de rugosité de surface.....	159
6 Valeurs normalisées des pertes transposables et paramètres pertinents.....	161
6.1 Généralités.....	161
6.2 Vitesse spécifique.....	161
6.3 Paramètres pour la transposition du rendement d'énergie hydraulique massique.....	162
6.3.1 Généralités.....	162

6.3.2	Turbines Francis.....	162
6.3.3	Pompes-turbines .....	162
6.3.4	Machines à écoulement axial.....	163
6.4	Paramètres pour la transposition du rendement de puissance (frottement disque) .....	163
6.4.1	Turbines Francis.....	163
6.4.2	Pompes-turbines .....	164
6.4.3	Machines à écoulement axial.....	164
7	Transposition au prototype .....	164
7.1	Généralités .....	164
7.2	Rendement hydraulique maximal supposé .....	166
7.3	Rendement hydraulique .....	167
7.4	Energie hydraulique massique .....	168
7.4.1	Mode Turbine .....	168
7.4.2	Mode Pompe .....	168
7.5	Débit.....	169
7.5.1	Mode Turbine .....	169
7.5.2	Mode Pompe .....	169
7.6	Couple.....	169
7.6.1	Mode Turbine .....	169
7.6.2	Mode Pompe .....	169
7.7	Puissance .....	170
7.7.1	Mode Turbine .....	170
7.7.2	Mode Pompe .....	170
8	Procédure de calcul.....	170
8.1	Généralités .....	170
8.2	Modèle de référence .....	171
8.3	Comparaison entre différents modèles .....	171
8.4	Procédure de normalisation des données d'essais: Etape 1 .....	171
8.5	Procédure de transposition au Prototype: Etape 2.....	174
8.6	Méthode alternative en une étape pour le point optimal .....	176
8.7	Données d'entrée requises .....	178
Annexe A (informative) Formules élémentaires et leur approximation .....		180
A.1	Principe de base de la structure de perte et effet d'échelle .....	180
A.1.1	Généralités.....	180
A.1.2	Structure de la perte et composants du rendement .....	180
A.1.3	Condition de fonctionnement similaire .....	182
A.1.4	Augmentation de performance [6].....	183
A.1.5	Pertes transposables .....	184
A.2	Estimation des formules d'effet d'échelle et approximations introduites pour simplifications .....	185
A.2.1	Part transposable de la perte d'énergie hydraulique massique $\delta_E$ et du rendement d'énergie hydraulique massique $\eta_E$ .....	185
A.2.2	Transposition du rendement de l'énergie hydraulique massique $\eta_E$ .....	186
A.2.3	Transposition du rendement volumétrique $\eta_Q$ .....	188
A.2.4	Transposition du rendement de puissance (frottement disque) $\eta_T$ .....	189
Annexe B (informative) Effet d'échelle sur les pertes d'énergie hydraulique massique des machines à écoulement radial .....		191

B.1	Effet d'échelle sur la perte par frottement .....	191
B.1.1	Effet d'échelle sur le coefficient de perte par frottement.....	191
B.1.2	Relation entre rugosité du sable $k_s$ et rugosité moyenne arithmétique $Ra$ .....	193
B.2	Décomposition de l'effet d'échelle sur le rendement d'énergie hydraulique massique .....	194
B.2.1	Coefficient de perte par frottement de chaque composante [9].....	194
B.2.2	Estimation de la formule d'effet d'échelle pour la transposition par composante.....	196
B.3	Perte relative d'énergie hydraulique massique transposable pour les machines à écoulement radial.....	197
B.3.1	Définition .....	197
B.3.2	Perte relative d'énergie hydraulique transposable $\delta_E$ d'une turbine Francis .....	198
B.3.3	Perte relative d'énergie hydraulique transposable normalisée $\delta_E$ d'une machine réversible, pompe-turbine .....	200
B.4	Coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ et coefficient dimensionnel $\kappa_{dCO}$ des machines à écoulement radial [9].....	201
B.4.1	Définition .....	201
B.4.2	$\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ pour une turbine Francis .....	201
B.4.3	$\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ pour une pompe-turbine.....	203
B.5	Coefficient de perte transposable normalisé $d_{ECOref}$ .....	206
B.5.1	Définition .....	206
B.5.2	$d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ normalisés pour une turbine Francis.....	206
B.5.3	$d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ normalisés pour une pompe-turbine.....	207
Annexe C (informative)	Effet d'échelle sur les pertes d'énergie hydraulique massique des machines à écoulement axial [9] .....	209
C.1	Décomposition des pertes transposables des machines à écoulement axial.....	209
C.2	Formule d'effet d'échelle pour les aubes de roue [10] .....	209
C.3	Formule d'effet d'échelle pour les parties fixes.....	210
C.4	Effet d'échelle pour les autres composants du rendement.....	211
C.4.1	Rendement volumétrique .....	211
C.4.2	Rendement de puissance (de frottement disque) .....	211
C.5	Effet d'échelle pour le rendement hydraulique.....	211
C.6	Détermination de $\delta_{ECOref}$ dans les turbines d'écoulement axial.....	211
C.7	Détermination de $\delta_{ECOref}$ pour les turbines bulbes .....	212
C.8	Estimation du coefficient de perte d'énergie hydraulique transposable, $d_{Eref}$ .....	213
C.8.1	Coefficient de perte transposable pour les aubes de roue.....	213
C.8.2	Coefficient de perte transposable pour les parties fixes .....	213
C.9	Résumé de la formule d'effet d'échelle pour les machines à écoulement axial ....	214
Annexe D (informative)	Effet d'échelle sur la perte par frottement disque .....	215
D.1	Formule du coefficient de perte de frottement par disque.....	215
D.2	Formule de transposition pour le rendement de puissance.....	217
D.3	Coefficient dimensionnel normalisé $\kappa_T$ et coefficient de perte de frottement par disque $d_{Tref}$ .....	217

D.3.1	Perte de référence par frottement disque $\delta_{Tref}$ .....	217
D.3.2	Coefficient dimensionnel du disque $\kappa_T$ .....	218
D.3.3	Coefficient de perte de frottement par disque $d_{Tref}$ .....	219
Annexe E (informative)	Comparaison des méthodes de transposition du rendement hydraulique des machines à réaction dans les normes IEC 60193 et IEC 62097 .....	221
E.1	Norme IEC 60193: méthode de transposition .....	221
E.1.1	Applications .....	221
E.1.2	Limites .....	221
E.2	Norme IEC 62097: méthode de transposition .....	221
E.2.1	Applications .....	221
E.2.2	Limites .....	222
Annexe F (informative)	Evaluation des pertes par fuite dans le cas de labyrinthes non homologues .....	223
F.1	Coefficient de perte du labyrinthe de roue .....	223
F.2	Formule générale pour obtenir $\Delta\eta_Q$ pour des labyrinthes non homologues .....	227
F.3	Évaluation de l'effet d'échelle dans le cas d'un labyrinthe droit en similitude .....	227
F.4	Labyrinthe droit ne respectant pas la similitude du jeu radial .....	228
Annexe G (normative)	Guide détaillé des calculs réalisés avec le classeur Excel joint .....	230
G.1	Normalisation des données d'essais: Etape 1 de la méthode «en 2 étapes» .....	230
G.2	Transposition au Prototype: Etape 2 de la méthode «en 2 étapes» .....	231
G.3	Solution alternative en une étape pour le point optimal .....	232
Annexe H (informative)	Exemple de calcul avec le classeur Excel joint .....	234
H.1	Page d'accueil .....	234
H.2	Exemple d'étape 1 pour une Pompe-Turbine en mode Turbine .....	235
H.2.1	Feuille de données «Input Form» de l'étape 1 .....	235
H.2.2	Résultats de l'étape 1 .....	237
H.3	Exemple d'étape 2 pour une Pompe-Turbine en mode Turbine .....	245
H.3.1	Feuilles de données «Input Form» de l'étape 2 .....	245
H.3.2	Résultats de l'étape 2 .....	247
Bibliographie	.....	255
Figure 1	– Concept de base de transposition en tenant compte de la rugosité de surface .....	152
Figure 2	– Impact de la rugosité de surface sur le rendement d'une turbine et son coût .....	156
Figure 3	– Régions des rugosités de surface des aubes de roues de Francis .....	160
Figure 4	– Région des rugosités de surface pour une aube de roue à écoulement axial .....	161
Figure 5	– Normalisation des données d'essai de $Re_{M_i}$ à $Re_{M^*}$ et de $Re_{M^*}$ à $Re_P$ .....	165
Figure 6	– Rendement hydraulique maximal supposé de référence .....	167
Figure 7	– Procédure de calcul – Méthode «en 2 étapes»: Première étape – Du modèle au modèle de référence .....	173
Figure 8	– Procédure de calcul – Méthode «en 2 étapes»: Seconde étape – Du modèle de référence au prototype .....	175
Figure 9	– Procédure de calcul – Méthode «en 1 étape»: pour le point optimal du modèle au prototype .....	177
Figure A.1	– Schéma des flux pour une turbine .....	181
Figure A.2	– Schéma des flux pour une pompe .....	182



Figure B.1 – Coefficient de perte en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité du sable.....	192
Figure B.2 – Différentes caractéristiques de $\lambda$ dans la zone de transition .....	193
Figure B.3 – Dimensions représentatives de passage des composants .....	195
Figure B.4 – Perte d'énergie hydraulique transposable normalisée dans chaque composante d'une turbine Francis .....	199
Figure B.5 – Perte relative d'énergie hydraulique transposable normalisée pour chaque composante d'une turbine-pompe en mode turbine .....	200
Figure B.6 – Perte relative d'énergie hydraulique transposable normalisée pour chaque composante d'une turbine-pompe en mode pompe .....	201
Figure B.7 – $\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ dans chaque composante d'une turbine Francis.....	202
Figure B.8 – $\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ de chaque composante d'une turbine pompe en mode turbine .....	204
Figure B.9 – $\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ de chaque composante d'une turbine pompe en mode pompe .....	205
Figure B.10 – $d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ normalisés pour une turbine Francis .....	206
Figure B.11 – $d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ normalisés pour une pompe-turbine en mode turbine.....	207
Figure B.12 – $d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ normalisés pour une pompe-turbine en mode pompe .....	208
Figure C.1 – $\delta_{ECOref}$ pour les turbines Kaplan.....	212
Figure D.1 – Perte de référence par frottement disque $\delta_{Tref}$ .....	218
Figure D.2 – Coefficient dimensionnel $\kappa_T$ .....	219
Figure D.3 – Coefficient de perte de frottement par disque $d_{Tref}$ .....	220
Figure F.1 – Exemples de conception typique de labyrinthes de roue (côté plafond) .....	225
Figure F.2 – Exemples de conception typique de labyrinthes de roue (côté ceinture) .....	226
Tableau 1 – Déviation permise entre les labyrinthes du modèle et du prototype.....	155
Tableau 2 – Plage de rugosité recommandée pour le modèle .....	159
Tableau 3 – Rugosité minimale recommandée du prototype pour des machines neuves radiales ou diagonales .....	159
Tableau 4 – Rugosité maximale recommandée du prototype pour des machines neuves radiales ou diagonales.....	160
Tableau 5 – Rugosité minimale recommandée du prototype pour des turbines neuves axiales .....	160
Tableau 6 – Rugosité maximale recommandée du prototype pour des machines neuves axiales.....	161
Tableau 7 – Coefficient de perte transposable $d_{ECOref}$ et de coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ pour les turbines Francis.....	162
Tableau 8 – Coefficient normalisé de perte transposable $d_{ECOref}$ et coefficient de vitesse normalisé $\kappa_{uCO}$ pour les pompes-turbines en mode turbine.....	162
Tableau 9 – Coefficient normalisé de perte transposable $d_{ECOref}$ et coefficient de vitesse normalisé $\kappa_{uCO}$ pour les pompes-turbines en mode pompe.....	163
Tableau 10 – Coefficient normalisé de perte transposable $d_{ECOref}$ et coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ pour les machines à écoulement axial.....	163

Tableau 11 – Calcul de $\eta_{hAmaxMref}$ .....	166
Tableau 12 – Rugosité de référence du modèle de référence, $Ra_{COMref}$ .....	171
Tableau 13 – Données d'entrée requises pour le calcul des performances du prototype .....	178
Tableau A.1 – Définitions des pertes relatives d'énergie hydraulique transposable .....	186
Tableau A.2 – Définitions de la transposition de l'énergie hydraulique massique .....	187
Tableau A.3 – Définitions de la transposition du rendement volumétrique .....	188
Tableau A.4 – Définitions des termes de transposition du rendement de puissance .....	189
Tableau C.1 – Rapport $\frac{d_{EST}}{\delta_{EST}}$ pour les turbines Francis et les pompes-turbines .....	214

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

# MACHINES HYDRAULIQUES, RADIALES ET AXIALES – METHODOLOGIE DE TRANSPOSITION DES PERFORMANCES DU MODELE AU PROTOTYPE

## 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 62097 a été établie par le comité technique 4 de l'IEC: Turbines hydrauliques.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2009. Cette édition constitue une révision éditoriale et technique.

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

- a) En introduction, des clarifications ont été apportées comme l'ajout d'une phrase qui déclare la primauté de la CEI 62097 sur la IEC 60193 en cas de discordance entre les 2 normes
- b) Aux Articles 3 et 4, les corrections des erreurs typographiques
- c) A l'Article 3: des modifications rendant conformes la présentation des termes et la structure de ce document avec la IEC 60193 (à l'exception de la température de l'eau)

- d) A l'Article 4:
- La suppression de l'article décrivant la procédure de transposition directe pour la machine hydraulique complète
  - L'introduction d'une vision globale en utilisant la notion de turbine A et de turbine B au lieu de turbine modèle, de turbine modèle de référence et de turbine prototype
  - Déplacement de la section traitant de "rugosité de surface du modèle et du prototype" dans un nouvel Article 5
- e) A l'Article 5:
- L'introduction de chapitres supplémentaires pour répondre aux commentaires soulevés au stade du CDV et pour clarifier le sujet de la rugosité de surface du modèle et du prototype
  - L'introduction de nouveaux tableaux pour la rugosité minimale recommandée du prototype pour les nouvelles machines radiales ou diagonales et pour les nouvelles turbines axiales
  - L'ajout d'une explication sur la mesure de la rugosité des surfaces fortement rouillées
- f) A l'Article 7 (anciennement Article 6):
- L'introduction d'un nouveau paragraphe pour clarification à propos du rendement hydraulique maximal supposé,  $\eta_{hAmax}$
  - La suppression de l'agrément mutuel pour l'application de la formule de transposition pour les machines dont le rendement très élevé excède  $\eta_{hAmax}$
  - Des clarifications des équations 22 à 33 en doublant les équations pour correspondre à la "méthode en deux étapes"
- g) Aux Articles 6 et 7, les corrections des erreurs typographiques
- h) A l'Article 8 (anciennement Article 7), l'introduction de nouveaux indices pour clarifier la méthode "en deux étapes" et la méthode alternative
- i) Dans l'Annexe A, la modification du diagramme de flux pour être conforme à l'IEC 60193
- j) A l'Annexe B:
- La correction de l'équation pour obtenir  $\Delta_{ECO}$
  - La suppression de l'article décrivant la procédure de transposition directe pour la machine hydraulique complète pour les machines à flux radial
- k) A l'Annexe C, la suppression de l'article décrivant la procédure de transposition directe pour la machine hydraulique complète pour les machines à flux axial
- l) Dans l'Annexe D:
- Les notes deviennent du texte principal
  - Le changement du nom des variables dans le chapitre D.1 pour clarifications
- m) Ajout de l'Annexe E, sur la comparaison des normes IEC traitant des modèles: 60193 et 62097
- n) Dans l'Annexe F, la clarification des équations en ajoutant des indices supplémentaires
- o) Le classeur Excel joint à la norme est révisé comme indiqué ci-dessous:
- La suppression de la routine concernant la procédure de transposition directe pour la machine hydraulique complète
  - L'avertissement concernant l'exigence d'agrément mutuel lorsque la transposition s'applique aux machines dont le rendement élevé excède  $\eta_{hAmax}$
  - L'ajout de la routine permettant de calculer la normalisation des mesures obtenues au point d'essai de rendement optimal
- p) La simplification de la structure, calcul du point optimal et d'un point individuel, calcul de l'effet d'échelle avec  $\eta_{hAmax}$

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

FDIS	Rapport de vote
4/359/FDIS	4/364/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le Tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Ce document a été rédigé 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

### 0.1 Remarques générales

La norme IEC 62097 fait partie d'une série de normes qui traitent des essais de modèles de machines hydrauliques. La série comporte deux groupes décrivant

- a) Turbines hydrauliques, pompes de stockage et turbines-pompes – Essais d'acceptation des modèles (IEC 60193);
- b) Machines hydrauliques, radiales et axiales – Méthode de conversion des performances du modèle au prototype (IEC 62097).

Les progrès technologiques dans le domaine des turbomachines hydrauliques utilisées dans les centrales hydroélectriques nécessitent la révision de la formule de transposition donnée dans la norme IEC 60193. Les progrès dans la connaissance des effets d'échelles proviennent des travaux réalisés dans les instituts de recherche, chez les constructeurs et dans les groupes de travail pertinents provenant des organisations de la norme IEC et de l'AIRH. Voir l'IEC 60193 et [1]<sup>1</sup> à [6].

La méthode de calcul des rendements du prototype, présentée ici, s'appuie sur un travail empirique et une recherche théorique d'analyse numérique de l'écoulement; elle a été simplifiée pour des raisons pratiques et admise comme une convention par [7] à [9]. La méthodologie est l'image de l'état du savoir actuel sur la transposition des performances d'un modèle réduit à un prototype en similitude.

La similitude n'est pas limitée à la similitude géométrique des composantes de la turbine, elle fait appel aussi à la similitude du triangle des vitesses en entrée et en sortie de la roue. [1].

Dans l'état actuel du savoir, dans la plupart des cas, la formule de calcul de transposition du rendement donnée dans la norme IEC 60193 et dans les normes antérieures surestime l'augmentation de rendement pour le prototype. Les limites et les applications de la transposition des performances des deux normes (IEC 60193 et IEC 62097) sont données en Annexe E.

Le présent document est prévu pour être employé principalement pour l'évaluation des résultats des essais contractuels sur modèle réduit de machines hydrauliques. S'il est employé pour d'autres buts tels que l'évaluation d'une rénovation de machines dont la surface est très rugueuse, il convient de prendre des précautions comme indiqué en Annexe B.

Suite au manque de connaissance suffisante sur la répartition des pertes dans les turbines Deriaz et les pompes d'accumulation multi-étages, le présent document ne fournit pas la formule d'effet d'échelle pour ces équipements.

Un classeur de travail Excel, concernant les procédures de transposition de performances des machines hydrauliques, à partir du modèle jusqu'au prototype, est joint à la fin du présent document de façon à faciliter le calcul des valeurs de transposition pour un point d'essai donné.

Lors de l'utilisation de ce document, si une incompatibilité est trouvée avec la norme IEC 60193, les informations de la norme IEC 62097 prévaudront. L'Annexe E fournit des informations supplémentaires sur la méthode de transposition des performances.

---

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets font référence à la bibliographie.

## 0.2 Caractéristiques fondamentales

Une différence fondamentale entre les formules de la norme IEC 60193 et de la norme IEC 62097 est la normalisation des pertes transposables. La norme IEC 60193 a défini et normalisé un coefficient de répartition des pertes  $V$  dont l'inconvénient réside dans le fait que les turbines dont le tracé n'a pas été optimisé peuvent tirer avantage de leur faible niveau technologique.

Ceci n'est certainement pas correct, puisqu'un tracé à faible niveau de rendement présente des pertes non transposables élevées comme les pertes par incidence, alors que le montant des pertes transposables est sensiblement constant pour une machine hydraulique de vitesse spécifique donnée et de type donné.

Le présent document évite les lacunes principales de la norme IEC 60193. La caractéristique fondamentale du présent document est la prise en compte de façon séparée des pertes d'énergie hydraulique massique, des pertes de frottement par disque et des pertes par fuite [4], [7] à [9].

En outre, la transposition des performances hydrauliques est non seulement basée sur la dépendance des pertes de frottement au nombre de Reynolds,  $Re$ , mais aussi à l'effet de rugosité de surface,  $Ra$ .

Puisque les rugosités des composantes de la machine réelle diffèrent entre elles, l'effet d'échelle est évalué pour chaque composante individuelle de façon séparée. Ces composants individuels de l'effet d'échelle sont additionnés au final pour obtenir l'effet d'échelle global de la machine hydraulique complète [9]. Pour les machines à écoulement radial, l'évaluation de l'effet d'échelle est réalisée sur cinq composantes séparément; bêche spirale, avant-distributeur, distributeur, roue et aspirateur. Pour les machines à écoulement axial, les pertes transposables des composantes individuelles ne sont pas encore clarifiées et sont traitées en deux parties; les aubes de la roue et toutes les parties fixes.

Les procédures de calcul selon le présent document sont résumées à l'Article 8.

Dans le cas où le classeur Excel est utilisé pour l'évaluation des résultats d'un modèle d'essai contractuel, il est recommandé que chaque partie concernée exécute le calcul de contrôle individuellement de façon croisée en utilisant des données d'entrée communes qui auront été convenues à l'avance pour au moins un point d'essai.

## **MACHINES HYDRAULIQUES, RADIALES ET AXIALES – METHODOLOGIE DE TRANSPOSITION DES PERFORMANCES DU MODELE AU PROTOTYPE**

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

Cette Norme internationale s'applique à la vérification du rendement et des performances de machines hydrauliques prototypes à partir des résultats d'essais sur modèle réduit en tenant compte des effets d'échelle y compris de l'effet de rugosité de surface.

Le présent document est prévue pour être employée lors de l'évaluation des résultats des essais contractuels sur modèle réduit de machines hydrauliques.

### **2 Références normatives**

Les documents suivants cités dans le texte 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).

IEC 60193, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Essais de réception sur modèle*