



IEC 62097

Edition 1.0 2009-02

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

---

**Hydraulic machines, radial and axial – Performance conversion method from model to prototype**

**Machines hydrauliques, radiales et axiales – Méthode de conversion des performances du modèle au prototype**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XC**  
CODE PRIX

---

ICS 27.140

ISBN 2-8318-1027-5

## CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	9
2 Normative references.....	9
3 Terms, definitions, symbols and units.....	9
3.1 System of units.....	9
3.2 List of terms.....	9
3.2.1 Subscripts' list.....	9
3.2.2 Terms, definitions, symbols and units.....	10
4 Scale-effect formula.....	13
4.1 General.....	13
4.1.1 Scalable losses.....	13
4.1.2 Basic formulae of the scale effect on hydrodynamic friction losses.....	15
4.2 Specific hydraulic energy efficiency.....	17
4.2.1 Step-up formula.....	17
4.2.2 Roughness of model and prototype.....	19
4.2.3 Direct step-up for a whole turbine.....	22
4.3 Power efficiency (disc friction).....	23
4.3.1 Step-up formula.....	23
4.3.2 Roughness of model and prototype.....	23
4.4 Volumetric efficiency.....	24
5 Standardized values of scalable losses and pertinent parameters.....	24
5.1 General.....	24
5.2 Specific speed.....	25
5.3 Parameters for specific hydraulic energy efficiency step-up.....	25
5.4 Parameters for power efficiency (disc friction) step-up.....	26
6 Calculation of prototype performance.....	27
6.1 General.....	27
6.2 Hydraulic efficiency.....	27
6.3 Specific hydraulic energy.....	28
6.4 Discharge.....	28
6.5 Torque.....	29
6.6 Power.....	29
6.7 Required input data.....	30
7 Calculation procedure.....	31
Annex A (informative) Basic formulae and their approximation.....	33
Annex B (informative) Scale effect on specific hydraulic energy losses of radial flow machines.....	43
Annex C (informative) Scale effect on specific hydraulic energy losses of axial flow machines [10].....	63
Annex D (informative) Scale effect on disc friction loss.....	70
Annex E (informative) Leakage loss evaluation for non homologous seals.....	76
Bibliography.....	83
Figure 1 – Basic concept for step-up considering surface roughness.....	16

Figure 2 – IEC criteria of surface roughness given in Tables 1 and 2 .....	20
Figure 3 – Francis Runner blade and fillets .....	21
Figure 4 – Runner blade axial flow .....	22
Figure 5 – Guide vanes .....	22
Figure 6 – Calculation steps of step-up values .....	32
Figure A.1 – Flux diagram for a turbine .....	34
Figure A.2 – Flux diagram for a pump .....	35
Figure B.1 – Loss coefficient versus Reynolds number and surface roughness .....	44
Figure B.2 – Different characteristics of $\lambda$ in transition zone .....	45
Figure B.3 – Representative dimensions of component passages .....	48
Figure B.4 – Relative scalable hydraulic energy loss in each component of Francis turbine .....	54
Figure B.5 – Relative scalable hydraulic energy loss in each component of pump-turbine in turbine operation .....	55
Figure B.6 – Relative scalable hydraulic energy loss in each component of pump-turbine in pump operation .....	56
Figure B.7 – $\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ in each component of Francis turbine .....	57
Figure B.8 – $\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ in each component of pump-turbine in turbine operation .....	58
Figure B.9 – $\kappa_{uCO}$ and $\kappa_{dCO}$ in each component of pump-turbine in pump operation .....	59
Figure B.10 – $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for Francis turbine .....	60
Figure B.11 – $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for pump-turbine in turbine operation .....	61
Figure B.12 – $d_{ECOref}$ and $d_{Eref}$ for pump-turbine in pump-operation .....	62
Figure C.1 – $\delta_{Eref}$ for Kaplan turbines .....	66
Figure D.1 – Disc friction loss ratio $\delta_{Tref}$ .....	72
Figure D.2 – Dimension factor $\kappa_T$ .....	74
Figure D.3 – Disc friction loss index $d_{Tref}$ .....	75
Figure E.1 – Examples of typical design of runner seals (crown side) .....	78
Figure E.2 – Examples of typical design of runner seals (band side) .....	79
Table 1 – Maximum recommended prototype runner roughness for new turbines ( $\mu\text{m}$ ) .....	21
Table 2 – Maximum recommended prototype guide vane roughness for new turbines ( $\mu\text{m}$ ) .....	22
Table 3 – Permissible deviation of the geometry of model seals from the prototype .....	24
Table 4 – Scalable loss index $d_{ECOref}$ and velocity factor $\kappa_{uCO}$ for Francis turbines .....	25
Table 5 – Scalable loss index $d_{ECOref}$ and velocity index $\kappa_{uCO}$ for pump-turbines in turbine operation .....	26
Table 6 – Scalable loss index $d_{ECOref}$ and velocity index $\kappa_{uCO}$ for pump-turbines in pump operation .....	26
Table 7 – Scalable loss index $d_{ECOref}$ and velocity factor $\kappa_{uCO}$ for axial flow machines .....	26
Table 8 – Required input data for the calculation of the prototype performance .....	30
Table B.1 – $d_{Eref}$ and $\kappa_{u0}$ for step-up calculation of whole turbine .....	51
Table B.2 – Criteria for the surface roughness for the application of the direct step-up formula .....	52

Table C.1 – Ratio of  $\frac{d_{EST}}{\delta_{EST}}$  for Francis turbines and pump-turbines ..... 68

Table C.2 – Parameters to obtain  $\Delta_{ECO}$  for axial flow machines ..... 68

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**HYDRAULIC MACHINES, RADIAL AND AXIAL –  
PERFORMANCE CONVERSION METHOD  
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 (hereinafter 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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 technical committee 4: Hydraulic turbines.

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

FDIS	Report of voting
4/242A/FDIS	4/243/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.

This publication contains attached files in the form of Excel file. These files are intended to be used as a complement and do not form an integral part of this publication.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result data indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- recommended;
- withdrawn;
- replaced by a revised edition;
- or amended.

## INTRODUCTION

### 0.1 General remarks

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

Advances in the technology of hydraulic turbo-machines used for hydroelectric power plants indicate the necessity of revising the scale effect formula given in 3.8 of IEC 60193. [1]<sup>1</sup> 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. [1 - 7]

The method of calculating prototype efficiencies, as given in this standard, is supported by experimental work and theoretical research on flow analysis and has been simplified for practical reasons and agreed as a convention. [8 – 10] The method is representing the present state of knowledge of the scale-up 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 the inlet and outlet of the runner/impeller. [2] Therefore, compared to IEC 60193, a higher attention has to be paid to the geometry of guide vanes.

According to the present state of knowledge, it is certain that, in most cases, the formula for the efficiency step-up calculation given in the IEC 60193 and earlier standards, overstated the step-up increment of the efficiency for the prototype. Therefore, in the case where a user wants to restudy a project for which a calculation of efficiency step-up was done based on any previous method, the user shall re-calculate the efficiency step-up with the new method given in this standard, before restudying the project of concern.

This standard 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 should be taken as described in Annex B.

Due to the lack of sufficient knowledge about the loss distribution in Deriaz turbines and storage pumps, this standard does not provide the scale effect formula for them.

An excel work sheet concerning the step-up procedures of hydraulic machine performance from model to prototype is indicated at the end of this Standard to facilitate the calculation of the step-up value.

### 0.2 Basic features

A fundamental difference compared to the IEC 60193 formula is the standardization of scalable losses. In a previous standard (see 3.8 of IEC 60193:1999 [1]), a loss distribution factor  $V$  has been defined and standardized, with the disadvantage that turbine designs which are not optimized benefit from their lower technological level.

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

This standard avoids all the inconsistencies connected with IEC 60193:1999. (see 3.8 of [1]) A new basic feature of this standard is the separate consideration of losses in specific hydraulic energy, disc friction losses and leakage losses. [5], [8 – 10]

---

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

Above all, in this standard, the scale-up 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 turbine. [10] 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 standard are summarized in Clause 7 and Excel sheets are provided as an Attachment to this standard to facilitate the step-up calculation.

In case that the Excel sheets are used for evaluation of the results of a contractual model test, each concerned party shall execute the calculation individually for cross-check using common input data agreed on in advance.

## HYDRAULIC MACHINES, RADIAL AND AXIAL – PERFORMANCE CONVERSION METHOD FROM MODEL TO PROTOTYPE

### 1 Scope

This International Standard is applicable to the assessment of the efficiency and performance of prototype hydraulic machine from model test results, with consideration of scale effect including the effect of surface roughness.

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

### 2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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 60193:1999, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	87
INTRODUCTION.....	89
1 Domaine d'application .....	91
2 Références normatives.....	91
3 Termes, définitions, symboles et unités .....	91
3.1 Système d'unités.....	91
3.2 Liste de termes .....	91
3.2.1 Liste des indices.....	91
3.2.2 Termes, définitions, symboles et unités .....	92
4 Formule d'effet d'échelle .....	95
4.1 Généralités.....	95
4.1.1 Pertes transposables.....	95
4.1.2 Formules fondamentales de l'effet d'échelle sur les pertes par frottement hydrodynamique .....	97
4.2 Rendement d'énergie hydraulique massique .....	99
4.2.1 Formule de transposition .....	99
4.2.2 Rugosité du modèle et du prototype .....	101
4.2.3 Transposition directe pour la machine hydraulique complète .....	104
4.3 Rendement de puissance (frottement disque).....	105
4.3.1 Formule de transposition .....	105
4.3.2 Rugosité du modèle et du prototype .....	105
4.4 Rendement volumétrique.....	106
5 Valeurs normalisées des pertes transposables et paramètres pertinents .....	107
5.1 Généralités.....	107
5.2 Vitesse spécifique .....	107
5.3 Paramètres pour la transposition du rendement d'énergie hydraulique massique.....	107
5.4 Paramètres pour la transposition du rendement de puissance (frottement disque).....	109
6 Calcul des performances du prototype.....	110
6.1 Généralités.....	110
6.2 Rendement hydraulique.....	110
6.3 Énergie hydraulique massique.....	111
6.4 Débit .....	111
6.5 Couple .....	111
6.6 Puissance .....	112
6.7 Données d'entrée nécessaires .....	112
7 Procédure de calcul.....	114
Annexe A (informative) Formules élémentaires et leur approximation .....	116
Annexe B (informative) Effet d'échelle sur les pertes d'énergie hydraulique massique des machines à écoulement radial .....	126
Annexe C (informative) Effet d'échelle sur les pertes d'énergie hydraulique massique des machines à écoulement axial [10].....	146
Annexe D (informative) Effet d'échelle sur la perte par frottement disque .....	154
Annexe E (informative) Évaluation des pertes par fuite dans le cas de labyrinthes non homologues .....	159

Bibliographie.....	166
Figure 1 – Considération fondamentale pour l’effet d’échelle incluant l’effet de rugosité .....	98
Figure 2 – Critère CEI pour la rugosité de surface donnée aux Tableaux 1 et 2 .....	102
Figure 3 – Aube de roue Francis.....	103
Figure 4 – Aube de roue à écoulement axial .....	104
Figure 5 – Directrices.....	104
Figure 6 – Procédure de calcul des valeurs de transposition.....	115
Figure A.1 – Schéma des flux pour une turbine.....	117
Figure A.2 – Schéma des flux pour une pompe .....	118
Figure B.1 – Coefficient de perte en fonction du nombre de Reynolds et de la rugosité du sable.....	127
Figure B.2 – Différentes caractéristiques de $\lambda$ dans la zone de transition.....	128
Figure B.3 – Dimensions représentatives de passage de composantes.....	131
Figure B.4 – Perte d’énergie hydraulique transposable dans chaque composante d’une turbine Francis.....	137
Figure B.5 – Perte relative d’énergie hydraulique transposable pour chaque composante d’une turbine-pompe en mode turbine .....	138
Figure B.6 – Perte relative d’énergie hydraulique transposable pour chaque composante d’une turbine-pompe en mode pompe .....	139
Figure B.7 – $\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ dans chaque composante d’une turbine Francis .....	140
Figure B.8 – $\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ de chaque composante d’une turbine pompe en mode turbine .....	141
Figure B.9 – $\kappa_{uCO}$ et $\kappa_{dCO}$ de chaque composante d’une turbine pompe en mode pompe .....	142
Figure B.10 – $d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ pour une turbine Francis.....	143
Figure B.11 – $d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ pour une turbine-pompe en mode turbine.....	144
Figure B.12 – $d_{ECOref}$ et $d_{Eref}$ pour une turbine-pompe en mode pompe .....	145
Figure C.1 – $\delta_{Eref}$ pour les turbines Kaplan .....	149
Figure D.1 – Perte de référence par frottement disque $\delta_{Tref}$ .....	156
Figure D.2 – Coefficient dimensionnel $\kappa_T$ .....	157
Figure D.3 – Coefficient de perte de frottement par disque $d_{Tref}$ .....	158
Figure E.1 – Exemples de conception typique de labyrinthes de roue (coté plafond).....	161
Figure E.2 – Exemples de conception typique de labyrinthes de roue (coté ceinture).....	162
Tableau 1 – Rugosité maximum recommandée pour la roue de turbines prototypes neuves ( $\mu\text{m}$ ).....	103
Tableau 2 – Rugosité maximum recommandée pour les directrices de machines prototypes neuves ( $\mu\text{m}$ ) .....	104
Tableau 3 – Déviation permise entre les labyrinthes du modèle et du prototype.....	106
Tableau 4 – Coefficient de perte transposable $d_{ECOref}$ et de coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ pour les turbines Francis .....	108
Tableau 5 – Coefficient de perte transposable $d_{ECOref}$ et coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ pour les turbines pompes en mode turbine.....	108
Tableau 6 – Coefficient de perte transposable $d_{ECOref}$ et coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ pour les turbines pompes en mode pompe.....	108

Tableau 7 – Coefficient de perte transposable $d_{ECOref}$ et coefficient de vitesse $\kappa_{uCO}$ pour les machines à écoulement axial.....	109
Tableau 8 – Données nécessaires au calcul des performances du prototype .....	113
Tableau B.1 – $d_{Eref}$ et $\kappa_{u0}$ pour le calcul de l'effet d'échelle sur la turbine complète.....	134
Tableau B.2 – Critères pour la rugosité de surface pour l'application de la formule de l'effet d'échelle direct.....	135
Tableau C.1 – Rapport $\frac{d_{EST}}{\delta_{EST}}$ pour les turbines Francis et les turbines-pompes .....	151
Tableau C.2 – Paramètres pour obtenir $\Delta_{ECO}$ pour les machines à écoulement axial .....	152

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### MACHINES HYDRAULIQUES, RADIALES ET AXIALES – METHODE DE CONVERSION DES PERFORMANCES DU MODELE AU PROTOTYPE

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 62097 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/242A/FDIS	4/243/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.

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

La présente publication contient des fichiers joints de type fichier Excel. Ces fichiers sont destinés à être utilisés comme complément et ne font pas partie intégrante de la présente publication.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI 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.

## INTRODUCTION

### 0.1 Remarques générales

La présente Norme internationale établit la performance de machines hydrauliques prototypes à partir d'essais sur modèle d'essais avec la considération des effets d'échelle incluant l'effet de rugosité de surface.

Les progrès technologiques dans le domaine des turbo-machines hydrauliques utilisées dans les centrales hydroélectriques nécessitent la révision de la formule d'effet d'échelle donnée dans le 3.8 de la CEI 60193. [1]<sup>1</sup> 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 CEI et de l'AIHR. [1 - 7]

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 doit être considérée comme une convention. [8 – 10] La méthode 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. [2] De ce fait, en comparaison avec la norme CEI 60193, une plus grande attention doit être portée sur la géométrie des directrices.

Dans l'état actuel du savoir, dans la plupart des cas, la formule de calcul de la transposition du rendement donnée dans la CEI 60193 et dans les normes antérieures surestimait l'augmentation de rendement pour le prototype. C'est pourquoi, dans le cas où l'utilisateur voudrait étudier à nouveau un projet pour lequel un calcul de transposition du rendement a déjà été réalisé en ayant été basé sur toute méthode précédente, celui-ci devra refaire le calcul de transposition du rendement avec la nouvelle méthode de la présente norme, avant d'étudier à nouveau le projet concerné.

La présente norme est prévue pour être employée principalement pour l'évaluation des résultats des essais contractuels sur modèle réduit de machines hydrauliques. Si elle est employée 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 dans l'Annexe B.

Suite au manque de connaissance suffisante sur la répartition des pertes dans les turbines Deriaz et les pompes d'accumulation, la présente norme ne fournit pas la formule d'effet d'échelle pour ces équipements.

Une feuille Excel, concernant les procédures de transposition de performances des machines hydrauliques, à partir du modèle jusqu'au prototype, est joint à la fin de la présente Norme de façon à faciliter le calcul des valeurs de transposition.

### 0.2 Caractéristiques fondamentales

Une différence fondamentale avec la formule de la CEI 60193 est la normalisation des pertes transposables. La CEI 60193:1999 (voir 3.8 [1]) 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.

---

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

Ceci n'est certainement pas correct. En effet, dans le cas de tracé à faible niveau de rendement, les pertes fixes, comme les pertes par incidence, sont élevés alors que le montant des pertes transposables est sensiblement constant pour une machine hydraulique de vitesse spécifique donnée et de type donné, quelque soit le constructeur.

La présente norme évite les lacunes principales de la CEI 60193:1999 (voir 3.8 [1]). Une caractéristique fondamentalement nouvelle de la présente norme 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. [5], [8 – 10]

En outre, dans la présente norme, la transposition des performances hydrauliques est non seulement basée sur la dépendance des pertes de frottement au nombre de Reynolds,  $Re$ , mais intègre aussi 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. [10] 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 la présente norme sont résumées à l'Article 6 et les feuilles Excel sont fournies en pièce jointe pour faciliter le calcul de transposition.

Dans le cas où les feuilles Excel sont utilisées pour l'évaluation des résultats d'un modèle d'essai contractuel, chaque partie concernée doit exécuter le calcul de contrôle individuellement de façon croisée en utilisant des données d'entrée communes qui auront été convenues à l'avance.

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

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

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

La présente norme 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 de référence suivants sont indispensables pour l'application 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).

CEI 60193:1999, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Essais de réception sur modèle*