

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60193

Deuxième édition
Second edition
1999-11

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

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



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60193:1999

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique.

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI***
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology.

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60193

Deuxième édition
Second edition
1999-11

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

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

IEC 1999 Droits de reproduction réservés

Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photo-copie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XH**

*Pour prix, voir catalogue en vigueur
For price, see current catalogue*

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	10
Articles	
1 Règles générales	12
1.1 Domaine d'application et objet.....	12
1.1.1 Domaine d'application	12
1.1.2 Objet.....	12
1.2 Références normatives	14
1.3 Terminologie, définitions, symboles et unités	16
1.3.1 Généralités	16
1.3.2 Unités	18
1.3.3 Liste des termes, définitions, symboles et unités.....	20
1.4 Nature et étendue des garanties relatives au fonctionnement hydraulique.....	58
1.4.1 Généralités	58
1.4.2 Garanties principales de performances hydrauliques vérifiables par un essai sur modèle	60
1.4.3 Garanties non vérifiables par des essais sur modèle.....	66
1.4.4 Données complémentaires de fonctionnement.....	66
2 Exécution des essais.....	68
2.1 Exigences imposées à l'installation d'essais et au modèle	68
2.1.1 Choix du laboratoire	68
2.1.2 Installation d'essais	68
2.1.3 Exigences concernant le modèle	70
2.2 Contrôle dimensionnel du modèle et du prototype.....	74
2.2.1 Généralités	74
2.2.2 Dimensions à contrôler sur le modèle et le prototype	94
2.2.3 Ondulation et rugosité de surface	110
2.3 Similitude hydraulique, conditions d'essai et modalités d'exécution des essais.....	118
2.3.1 Similitude hydraulique	118
2.3.2 Conditions d'essai	132
2.3.3 Modalités d'exécution des essais.....	138
2.4 Introduction aux méthodes de mesure	160
2.4.1 Mesures liées aux garanties principales de performances hydrauliques	160
2.4.2 Mesures liées à des données complémentaires	164
2.4.3 Acquisition et traitement des données.....	164
2.5 Propriétés physiques.....	164
2.5.1 Généralités	164
2.5.2 Accélération due à la pesanteur.....	164
2.5.3 Propriétés physiques de l'eau	166
2.5.4 Propriétés physiques de l'atmosphère.....	176
2.5.5 Masse volumique du mercure	178

CONTENTS

	Page
FOREWORD	11
Clause	
1 General rules	13
1.1 Scope and object	13
1.1.1 Scope	13
1.1.2 Object	13
1.2 Normative references	15
1.3 Terms, definitions, symbols and units	17
1.3.1 General	17
1.3.2 Units	19
1.3.3 List of terms, definitions, symbols and units	21
1.4 Nature and extent of guarantees related to hydraulic performance	59
1.4.1 General	59
1.4.2 Main hydraulic performance guarantees verifiable by model test	61
1.4.3 Guarantees not verifiable by model test	67
1.4.4 Additional performance data	67
2 Execution of tests	69
2.1 Requirements of test installation and model	69
2.1.1 Choice of laboratory	69
2.1.2 Test installation	69
2.1.3 Model requirements	71
2.2 Dimensional check of model and prototype	75
2.2.1 General	75
2.2.2 Dimensions of model and prototype to be checked	95
2.2.3 Surface waviness and roughness	111
2.3 Hydraulic similitude, test conditions and test procedures	119
2.3.1 Hydraulic similitude	119
2.3.2 Test conditions	133
2.3.3 Test procedures	139
2.4 Introduction to the methods of measurement	161
2.4.1 Measurements related to the main hydraulic performance guarantees	161
2.4.2 Measurements related to additional data	165
2.4.3 Acquisition and processing of data	165
2.5 Physical properties	165
2.5.1 General	165
2.5.2 Acceleration due to gravity	165
2.5.3 Physical properties of water	167
2.5.4 Physical conditions of atmosphere	177
2.5.5 Density of mercury	179

Articles	Pages
3 Performances hydrauliques principales: méthodes de mesurage et résultats.....	180
3.1 Acquisition et traitement des données	180
3.1.1 Introduction et définitions	180
3.1.2 Spécifications générales.....	180
3.1.3 Acquisition des données.....	184
3.1.4 Spécification des composants	186
3.1.5 Contrôle du système d'acquisition des données	192
3.2 Mesurage du débit	196
3.2.1 Généralités	196
3.2.2 Méthodes primaires.....	200
3.2.3 Méthodes secondaires.....	208
3.3 Mesurage de la pression	214
3.3.1 Généralités	214
3.3.2 Choix de la section de mesure de la pression	214
3.3.3 Prises de pression et tuyauteries de liaison	216
3.3.4 Appareillage de mesure de la pression	222
3.3.5 Etalonnage des appareils de mesure de pression	236
3.3.6 Mesures de vide.....	236
3.3.7 Incertitude sur les mesures de pression.....	238
3.4 Mesurage du niveau libre	238
3.4.1 Généralités	238
3.4.2 Choix des sections de mesurage du niveau libre.....	238
3.4.3 Nombre des points de mesurage dans une section	238
3.4.4 Appareillage de mesure.....	240
3.4.5 Incertitudes sur les mesures de niveau libre	244
3.5 Détermination de E et NPSE	244
3.5.1 Généralités	244
3.5.2 Détermination de l'énergie hydraulique massique E	246
3.5.3 Formules simplifiées pour E	250
3.5.4 Détermination de l'énergie massique nette à l'aspiration NPSE	260
3.6 Mesurage du couple sur l'arbre	270
3.6.1 Généralités	270
3.6.2 Méthodes de mesurage du couple	270
3.6.3 Méthodes pour absorber ou fournir la puissance.....	272
3.6.4 Schémas de montage.....	272
3.6.5 Contrôle du système.....	282
3.6.6 Etalonnage.....	282
3.6.7 Incertitude sur la mesure du couple	284
3.7 Mesurage de la vitesse de rotation	286
3.7.1 Généralités	286
3.7.2 Méthodes de mesurage de la vitesse	286
3.7.3 Contrôle	286
3.7.4 Incertitude de mesure.....	288

Clause	Page
3 Main hydraulic performances: methods of measurement and results	181
3.1 Data acquisition and data processing	181
3.1.1 Introduction and definitions	181
3.1.2 General requirements	181
3.1.3 Data acquisition	185
3.1.4 Component requirements	187
3.1.5 Check of the data acquisition system	193
3.2 Discharge measurement	197
3.2.1 General	197
3.2.2 Primary methods	201
3.2.3 Secondary methods	209
3.3 Pressure measurement	215
3.3.1 General	215
3.3.2 Choice of pressure-measuring section	215
3.3.3 Pressure taps and connecting lines	217
3.3.4 Apparatus for pressure measurement	223
3.3.5 Calibration of pressure measurement apparatus	237
3.3.6 Vacuum measurements	237
3.3.7 Uncertainty in pressure measurements	239
3.4 Free water level measurement	239
3.4.1 General	239
3.4.2 Choice of water level measuring sections	239
3.4.3 Number of measuring points in a measuring section	239
3.4.4 Measuring apparatus	241
3.4.5 Uncertainty in free water level measurement	245
3.5 Determination of E and NPSE	245
3.5.1 General	245
3.5.2 Determination of the specific hydraulic energy E	247
3.5.3 Simplified formulae for E	251
3.5.4 Determination of the net positive suction specific energy NPSE	261
3.6 Shaft torque measurement	271
3.6.1 General	271
3.6.2 Methods of torque measurement	271
3.6.3 Methods of absorbing/generating power	273
3.6.4 Layout of arrangement	273
3.6.5 Checking of system	283
3.6.6 Calibration	283
3.6.7 Uncertainty in torque measurement	285
3.7 Rotational speed measurement	287
3.7.1 General	287
3.7.2 Methods of speed measurement	287
3.7.3 Checking	287
3.7.4 Uncertainty of measurement	289

Articles	Pages
3.8 Calcul des résultats d'essai	288
3.8.1 Généralités	288
3.8.2 Calcul de la puissance, du débit et du rendement dans le domaine garanti	298
3.8.3 Calcul de la vitesse et du débit d'emballlement stabilisé	328
3.9 Analyse des erreurs	336
3.9.1 Principes de base (voir ISO 5168)	336
3.9.2 Détermination des incertitudes lors des essais sur modèle.....	340
3.10 Comparaison aux garanties	350
3.10.1 Généralités	350
3.10.2 Courbe d'interpolation et bande d'incertitude totale	352
3.10.3 Puissance, débit et/ou énergie hydraulique massique et rendement dans le domaine garanti	354
3.10.4 Vitesse et débit d'emballlement	362
3.10.5 Garanties de cavitation.....	362
4 Données complémentaires de fonctionnement – Méthodes de mesurage et résultats	366
4.1 Introduction au mesurage des données complémentaires	366
4.1.1 Généralités	366
4.1.2 Conditions d'essai et mode opératoire	368
4.1.3 Incertitude de mesure.....	368
4.1.4 Transposition du modèle au prototype	368
4.2 Acquisition et traitement des données pour le mesurage des grandeurs fluctuantes	370
4.2.1 Généralités	370
4.2.2 Acquisition des données	372
4.2.3 Traitement des données	376
4.3 Fluctuations de pression	378
4.3.1 Généralités	378
4.3.2 Recommandations particulières pour le modèle et l'installation	386
4.3.3 Instrumentation et étalonnage	388
4.3.4 Détails de procédure	390
4.3.5 Mesures	396
4.3.6 Analyse, présentation et interprétation des résultats	396
4.3.7 Transposition au prototype	402
4.3.8 Incertitude	408
4.4 Fluctuations de couple sur l'arbre	410
4.4.1 Généralités	410
4.4.2 Recommandations pour les mesures	410
4.4.3 Analyse des résultats d'essais sur modèle	410
4.4.4 Transposition au prototype	410
4.5 Poussées axiale et radiale.....	412
4.5.1 Généralités	412
4.5.2 Poussée axiale.....	414
4.5.3 Poussée radiale	424

Clause	Page
3.8 Computation of test results.....	289
3.8.1 General.....	289
3.8.2 Computation of power, discharge and efficiency in the guarantee range	299
3.8.3 Computation of steady-state runaway speed and discharge	329
3.9 Error analysis.....	337
3.9.1 Basic principles (see ISO 5168).....	337
3.9.2 Determination of uncertainties in model tests.....	341
3.10 Comparison with guarantees	351
3.10.1 General.....	351
3.10.2 Interpolation curve and total uncertainty bandwidth	353
3.10.3 Power, discharge and/or specific hydraulic energy and efficiency in the guarantee range.....	355
3.10.4 Runaway speed and discharge	363
3.10.5 Cavitation guarantees.....	363
4 Additional performance data – Methods of measurement and results	367
4.1 Introduction to additional data measurement.....	367
4.1.1 General.....	367
4.1.2 Test conditions and test procedures	369
4.1.3 Uncertainty in measurements	369
4.1.4 Model to prototype conversion	369
4.2 Data acquisition and processing for measurement of fluctuating quantities	371
4.2.1 General.....	371
4.2.2 Data acquisition	373
4.2.3 Data processing	377
4.3 Pressure fluctuations.....	379
4.3.1 General.....	379
4.3.2 Special requirements for model and installation	387
4.3.3 Instrumentation and calibration	389
4.3.4 Detailed procedures	391
4.3.5 Measurement	397
4.3.6 Analysis, presentation and interpretation of results	397
4.3.7 Transposition to prototype	403
4.3.8 Uncertainties	409
4.4 Shaft torque fluctuations	411
4.4.1 General.....	411
4.4.2 Recommendations for measurement	411
4.4.3 Analysis of model test results	411
4.4.4 Transposition to prototype	411
4.5 Axial and radial thrust.....	413
4.5.1 General.....	413
4.5.2 Axial thrust.....	415
4.5.3 Radial thrust.....	425

Articles	Pages
4.6 Efforts hydrauliques sur les organes de réglage.....	430
4.6.1 Généralités	430
4.6.2 Couple sur les directrices	432
4.6.3 Couple sur les pales de roue	442
4.6.4 Force sur le pointeau et couple sur le déflecteur des turbines Pelton	452
4.7 Essais dans un domaine de fonctionnement élargi.....	458
4.7.1 Généralités	458
4.7.2 Terminologie	458
4.7.3 Objet des essais	464
4.7.4 Particularités de certains essais	466
4.8 Mesures de pression différentielle en vue des essais indicatifs du prototype	470
4.8.1 Généralités	470
4.8.2 But de l'essai.....	472
4.8.3 Exécution de l'essai.....	472
4.8.4 Transposition aux conditions du prototype.....	474
4.8.5 Incertitude.....	474
Annexe A (informative) Termes adimensionnels.....	476
Annexe B (normative) Propriétés physiques, valeurs numériques.....	478
Annexe C (informative) Etablissement de l'équation définissant l'énergie hydraulique massique de la machine	494
Annexe D (informative) Influence de la masse volumique réelle de l'eau, ρ_{wa} , sur les mesures et sur les étalonnages	498
Annexe E (informative) Procédure résumée d'essai et de calcul.....	500
Annexe F (normative) Effet d'échelle sur le rendement hydraulique des machines à réaction	508
Annexe G (normative) Calcul des caractéristiques d'emballlement du prototype en tenant compte des pertes par frottement et par ventilation du groupe.....	518
Annexe H (informative) Exemple de détermination de la meilleure courbe lissée: méthode des segments séparés.....	520
Annexe J (informative) Exemples d'analyse des sources d'erreur et évaluation de l'incertitude.....	526
Annexe K (normative) Effet d'échelle sur le rendement des turbines Pelton	538
Annexe L (normative) Analyse des incertitudes aléatoires lors d'un essai dans des conditions de fonctionnement constantes	544
Annexe M (normative) Calcul du nombre de Thoma d'installation σ_{pl}	552
Annexe N (informative) Bilan schématique détaillé des énergies hydrauliques massiques, des débits et des puissances	560
Annexe P (informative) Bibliographie	566

Clause	Page
4.6 Hydraulic loads on control components	431
4.6.1 General	431
4.6.2 Guide vane torque	433
4.6.3 Runner blade torque	443
4.6.4 Pelton needle force and deflector torque	453
4.7 Testing in an extended operating range	459
4.7.1 General	459
4.7.2 Terminology	459
4.7.3 Scope of tests	465
4.7.4 Provisions for particular tests	467
4.8 Differential pressure measurement in view of prototype index test	471
4.8.1 General	471
4.8.2 Purpose of test	473
4.8.3 Execution of test	473
4.8.4 Transposition to prototype conditions	475
4.8.5 Uncertainty	475
Annex A (informative) Dimensionless terms	477
Annex B (normative) Physical properties, data	479
Annex C (informative) Derivation of the equation for the specific hydraulic energy of a machine	495
Annex D (informative) Influence of the density of actual water ρ_{wa} on measurement and calibration	499
Annex E (informative) Summarized test and calculation procedure	501
Annex F (normative) Scale-up of the hydraulic efficiency of reaction machines	509
Annex G (normative) Computation of the prototype runaway characteristics taking into account friction and windage losses of the unit	519
Annex H (informative) Example of determination of the best smooth curve: method of separate segments	521
Annex J (informative) Examples analysis of sources of error and uncertainty evaluation	527
Annex K (normative) Efficiency scale-up for Pelton turbines	539
Annex L (normative) Analysis of random uncertainties for a test at constant operating conditions	545
Annex M (normative) Calculation of plant Thoma number σ_{pl}	553
Annex N (informative) Detailed flux diagram of specific hydraulic energy, flow and power	561
Annex P (informative) Bibliography	567

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES – ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes Internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 60193 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Cette deuxième édition de la CEI 60193 annule et remplace la première édition de la CEI 60193 parue en 1965, sa modification n° 1 (1977), son premier complément CEI 60193A (1972), ainsi que la CEI 60497 (1976) et la CEI 60995 (1991).

Les articles 1 à 3 de la présente norme couvrent le domaine traité dans les publications susmentionnées. En outre des informations supplémentaires sont données à l'article 4.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/157/FDIS	4/162/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.

Les annexes B, F, G, K, L et M font partie intégrante de cette norme.

Les annexes A, C, D, E, H, J, N et P sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que cette publication reste valable jusqu'en 2004. A cette date, selon décision préalable du comité, la publication sera

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS
AND PUMP-TURBINES –
MODEL ACCEPTANCE TESTS**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60193 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This second edition of IEC 60193 cancels and replaces the first edition of IEC 60193 published in 1965, its amendment 1 (1977), IEC 60193A (1972), as well as IEC 60497 (1976) and IEC 60995 (1991).

Clauses 1 to 3 of this standard cover the scopes dealt with in the above-mentioned publications. Additional information is given in clause 4.

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

FDIS	Report on voting
4/157/FDIS	4/162/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.

Annexes B, F, G, K, L and M form an integral part of this standard.

Annexes A, C, D, E, H, J, N and P are for information only.

The committee has decided that this publication remains valid until 2004. At this date, in accordance with the committee's decision, the publication will be

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

TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES – ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE

1 Règles générales

1.1 Domaine d'application et objet

1.1.1 Domaine d'application

La présente Norme internationale est applicable aux modèles de laboratoire de tout type de turbine hydraulique à action ou à réaction, de pompe d'accumulation ou de pompe-turbine.

Elle s'applique aux modèles de machines prototypes ayant une puissance unitaire supérieure à 5 MW ou un diamètre de référence supérieur à 3 m. Bien que l'application intégrale des procédures prescrites ne soit généralement pas justifiée pour des machines de puissance et de dimension inférieures, la présente norme peut néanmoins être utilisée pour de telles machines après accord entre l'acheteur et le fournisseur.

Dans cette norme, le terme «turbine» inclut une pompe-turbine fonctionnant en turbine et le terme «pompe» inclut une pompe-turbine fonctionnant en pompe.

Cette norme exclut tous les sujets à caractère purement commercial, excepté ceux intimement liés à la bonne conduite des essais.

Cette norme ne concerne ni les détails de construction des machines, ni les propriétés mécaniques de leurs différentes parties pour autant que ces éléments n'affectent pas le fonctionnement du modèle ni la relation entre les performances du modèle et celles du prototype.

1.1.2 Objet

La présente Norme internationale régit les modalités des essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines en vue de déterminer si les garanties contractuelles de performances hydrauliques principales (voir 1.4.2) sont respectées.

Elle fixe les règles qui gouvernent la conduite de ces essais et prescrit les mesures à prendre en cas de contestation d'une phase quelconque des essais.

Les objectifs principaux de la présente Norme internationale sont

- de définir les termes et les grandeurs utilisés;
- de prescrire les méthodes d'essai et les façons de mesurer les grandeurs permettant d'évaluer les performances hydrauliques du modèle;
- de prescrire les méthodes de calcul des résultats et de comparaison aux garanties;
- de déterminer si les garanties contractuelles qui sont du domaine de cette norme sont respectées;
- de définir l'étendue, le contenu et la présentation du rapport final.

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

- garanties reposant sur les performances hydrauliques du prototype, calculées à partir des résultats d'essai du modèle en tenant compte des effets d'échelle;
- garanties reposant sur les performances hydrauliques du modèle.

HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES – MODEL ACCEPTANCE TESTS

1 General rules

1.1 Scope and object

1.1.1 Scope

This International Standard applies to laboratory models of any type of impulse or reaction hydraulic turbine, storage pump or pump-turbine.

This standard applies to models of prototype machines either with unit power greater than 5 MW or with reference diameter greater than 3 m. Full application of the procedures herein prescribed is not generally justified for machines with smaller power and size. Nevertheless, this standard may be used for such machines by agreement between purchaser and supplier.

In this standard, the term "turbine" includes a pump-turbine operating as a turbine and the term "pump" includes a pump-turbine operating as a pump.

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

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

1.1.2 Object

This International Standard covers the arrangements for model acceptance tests to be performed on hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines to determine if the main hydraulic performance contract guarantees (see 1.4.2) have been satisfied.

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

The main objectives of this standard are:

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

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

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

Par ailleurs des données complémentaires de fonctionnement (voir 1.4.4) peuvent être nécessaires pour la conception ou l'exploitation de la machine hydraulique prototype. Contrairement aux prescriptions indiquées aux articles 1 à 3 relatives aux performances hydrauliques principales, les informations sur ces données complémentaires décrites à l'article 4 ne sont considérées que comme des recommandations ou des conseils à l'utilisateur (voir 4.1).

Il est particulièrement recommandé d'effectuer les essais de réception sur modèle lorsque les conditions pratiques dans lesquelles seraient faits des essais de réception sur le site (voir CEI 60041) ne permettraient pas de prouver le respect des garanties données pour le prototype.

La présente norme peut aussi s'appliquer aux essais sur modèle effectués à d'autres fins, par exemple des essais comparatifs ou des travaux de recherche et développement.

Lorsque des essais de réception sur modèle ont été réalisés, les essais sur place peuvent se réduire à des essais indiciels (voir CEI 60041, article 15).

S'il apparaît une contradiction entre cette norme et d'autres normes, les dispositions de la présente norme prévalent.

1.2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente Norme internationale. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente Norme internationale sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60041:1991, *Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines, en vue de la détermination de leurs performances hydrauliques*

CEI 60609:1978, *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques*

CEI 60609-2:1997, *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques – Partie 2: Evaluation dans les turbines Pelton*

CEI 60994:1991, *Guide pour la mesure in situ des vibrations et fluctuations sur machines hydrauliques (turbines, pompes d'accumulation et pompes turbines)*

CEI 61364:1999, *Nomenclature des machines hydrauliques*

CEI 61366 (toutes les parties), *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Documents d'appel d'offres*

ISO 31-3:1992, *Grandeurs et unités – Partie 3: Mécanique*

ISO 31-12:1992, *Grandeurs et unités – Partie 12: Nombres caractéristiques*

ISO 468:1982, *Rugosité de surface – Paramètres, leurs valeurs et les règles générales de la détermination des spécifications*

ISO 1438-1:1980, *Mesure de débit de l'eau dans les canaux découverts au moyen de déversoirs et de canaux Venturi – Partie 1: Déversoirs en mince paroi*

Moreover additional performance data (see 1.4.4) can be needed for the design or the operation of the prototype of the hydraulic machine. Contrary to the requirements of clauses 1 to 3 related to main hydraulic performance the information of these additional data given in clause 4 is considered only as recommendation or guidance to the user (see 4.1).

It is particularly recommended that model acceptance tests be performed if the expected field conditions for acceptance tests (see IEC 60041) would not allow the verification of guarantees given for the prototype machine.

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

If model acceptance tests have been performed, field tests can be limited to index tests (see IEC 60041, clause 15).

If a contradiction is found between this standard and any other standard, this standard shall prevail.

1.2 Normative references

The following normative documents contain provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this International Standard. At the time of publication, the editions indicated were valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this International Standard are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent editions of the normative documents indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60041:1991, *Field acceptance test to determine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*

IEC 60609:1978, *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*

IEC 60609-2:1997, *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Part 2: Evaluation in Pelton turbines*

IEC 60994:1991, *Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)*

IEC 61364:1999, *Nomenclature of hydraulic machinery*

IEC 61366 (all parts), *Hydraulic turbines storage pumps and pump-turbines – Tendering documents*

ISO 31-3:1992, *Quantities and units – Part 3: Mechanics*

ISO 31-12:1992, *Quantities and units – Part 12: Characteristic numbers*

ISO 468:1982, *Surface roughness – Parameters, their values and general rules for specifying requirements*

ISO 1438-1:1980, *Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes – Part 1: Thin-plate weirs*

ISO 2186:1973, *Débit des fluides dans les conduites fermées – Liaisons pour la transmission du signal de pression entre les éléments primaires et secondaires*

ISO 2533:1975, *Atmosphère-type*
Additif 1: 1985

ISO 4006:1991, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Vocabulaire et symboles*

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

ISO 4373:1995, *Mesure de débit des liquides dans les chenaux – Appareils de mesure du niveau de l'eau*

ISO 5167-1:1991, *Mesure de débit des fluides au moyen d'appareils déprimogènes – Partie 1: Diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire*

ISO 5168:1978, *Mesure de débit des fluides – Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit*

ISO 6817:1992, *Mesure de débit d'un fluide conducteur dans les conduites fermées – Méthode par débitmètres électromagnétiques*

ISO 7066-1:1997, *Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit – Partie 1: Relations d'étalonnage linéaires*

ISO 7066-2:1988, *Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit – Partie 2: Relations d'étalonnage non linéaires*

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

ISO 9104:1991, *Mesure de débit des fluides dans les conduites fermées – Méthodes d'évaluation de la performance des débitmètres électromagnétiques utilisés pour les liquides*

VIM:1993, *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (BIPM-CEI-ISO-OIML)*

1.3 Terminologie, définitions, symboles et unités

1.3.1 Généralités

Pour les besoins de la présente Norme internationale, les termes d'usage général, leurs définitions, symboles et unités suivants s'appliquent. Les termes plus particuliers sont définis là où ils apparaissent.

Tout terme, définition ou unité de mesure qui ferait l'objet de contestation doit être précisé par écrit avant les essais, d'un commun accord entre les parties contractantes.

1.3.1.1 point

Un *point* est établi par une ou plusieurs séries consécutives de relevés et/ou d'enregistrements dans des conditions de fonctionnement et avec des ouvertures inchangées, de manière à pouvoir calculer les performances de la machine dans ces conditions de fonctionnement et avec ces ouvertures.

1.3.1.2 essai

un *essai* comprend un ensemble de points et de résultats qui permet d'établir les performances de la machine dans tout le domaine de fonctionnement spécifié

ISO 2186:1973, *Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements*

ISO 2533:1975, *Standard atmosphere*
Addendum 1: 1985

ISO 4006:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Vocabulary and symbols*

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

ISO 4373:1995, *Measurement of liquid flow in open channels – Water level measuring devices*

ISO 5167-1:1991, *Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Part 1: Orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full*

ISO 5168:1978, *Measurement of fluid flow – Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement*

ISO 6817:1992, *Measurement of conductive liquid flow in closed conduits – Method using electromagnetic flowmeters*

ISO 7066-1:1997, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 1: Linear calibration relationship*

ISO 7066-2:1988, *Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices – Part 2: Non-linear calibration relationships*

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

ISO 9104:1991, *Measurement of fluid flow in closed conduits – Methods of evaluating the performance of electromagnetic flow-meters for liquids*

VIM:1993, *International vocabulary of basic and general terms in metrology (BIPM-IEC-ISO-OIML)*

1.3 Terms, definitions, symbols and units

1.3.1 General

For the purpose of this International Standard the following common terms, definitions, symbols and units apply. Specialized terms are explained where they appear.

Clarification of any term, definition or unit of measure in question shall be agreed to in writing by the contracting parties in advance of the test.

1.3.1.1 point

A *point* is established by one or more consecutive sets of readings and/or recordings at unchanged operating condition and settings, sufficient to calculate the performance of the machine at this operating condition and these settings

1.3.1.2 test

a *test* comprises a collection of points and results adequate to establish the performance of the machine over a specified range of operating conditions

1.3.1.3 performances hydrauliques

toutes les grandeurs caractérisant le fonctionnement de la machine par suite des effets hydrodynamiques

1.3.1.4 performances hydrauliques principales

sous-ensemble des performances hydrauliques, à savoir la puissance, le débit et/ou l'énergie hydraulique massique, le rendement, la vitesse d'emballlement stabilisé et/ou le débit d'emballlement stabilisé. L'influence de la cavitation doit être prise en compte.

1.3.1.5 données complémentaires

autre sous-ensemble des performances hydrauliques qui peuvent être déterminées sur le modèle (voir 1.4.4) à titre informatif. Cependant, la prévision des données correspondantes pour le prototype est moins précise que pour les performances hydrauliques principales, car on applique des lois de similitude approchées.

1.3.1.6 garanties

performances spécifiées contractuellement acceptées

1.3.2 Unités

Le Système International d'Unités (SI, voir ISO 31-3) est utilisé tout au long de cette norme.

Tous les termes sont donnés en unités de base SI ou en unités cohérentes dérivées¹⁾. Les équations de base sont valables lorsqu'on utilise ces unités. Cela ne doit pas être perdu de vue lorsque, pour certaines grandeurs, on utilise des unités autres que les unités cohérentes S.I. (par exemple kilowatt au lieu de watt pour une puissance, kilopascal ou bar au lieu de pascal pour une pression, min⁻¹ au lieu de s⁻¹ pour une vitesse de rotation, etc.). Les températures absolues en kelvins étant rarement nécessaires, on peut donner les températures en degrés Celsius.

Tout autre système d'unités peut être utilisé à la seule condition que les parties contractantes en aient ainsi convenu par écrit.

¹⁾ N = kg·m·s⁻² Pa = kg·m⁻¹·s⁻² J = kg·m²·s⁻² W = kg·m²·s⁻³

1.3.1.3 hydraulic performance

all performance parameters attributable to the machine due to hydrodynamic effects

1.3.1.4 main hydraulic performance data

a subset of the hydraulic performance parameters, i.e. power, discharge and/or specific hydraulic energy, efficiency, steady-state runaway speed and/or discharge. The influence of cavitation must be considered.

1.3.1.5 additional data

a subset of hydraulic performance data which can be determined for information on the model (see 1.4.4). However, the prediction of the corresponding prototype data is less accurate than that achievable for the main hydraulic performance data, due to application of approximate similarity rules.

1.3.1.6 guarantees

specified performance data contractually agreed to

1.3.2 Units

The international System of Units (SI, see ISO 31-3) has been used throughout this standard.

All terms are given in SI base units or derived coherent units¹⁾. The basic equations are valid using these units. This has to be taken into account if other than coherent SI units are used for certain data (e.g. kilowatt instead of watt for power, kilopascal or bar instead of pascal for pressure, min⁻¹ instead of s⁻¹ for rotational speed, etc.). Temperatures may be given in degrees Celsius since absolute temperatures (in kelvins) are rarely required.

Any other system of units may be used but only if agreed in writing by the contracting parties.

¹⁾ N = kg·m·s⁻² Pa = kg·m⁻¹·s⁻² J = kg·m²·s⁻² W = kg·m²·s⁻³

1.3.3 Liste des termes, définitions, symboles et unités

1.3.3.1 Indices et signes représentatifs

Paragraphe	Terme	Définition	Indice ou signe représentatif
1.3.3.1.1	Section de référence haute pression ¹⁾	Section côté haute pression de la machine par rapport à laquelle les performances garanties sont définies (voir figure 1)	1
1.3.3.1.2	Section de référence basse pression ¹⁾	Section côté basse pression de la machine par rapport à laquelle les performances garanties sont définies (voir figure 1)	2
1.3.3.1.3	Sections de mesure haute pression	Dans la mesure du possible, ces sections devraient coïncider avec la section 1; sinon, les valeurs mesurées doivent être transposées à celle-ci (voir 3.5.2.1.3)	1', 1" ..
1.3.3.1.4	Sections de mesure basse pression	Dans la mesure du possible, ces sections devraient coïncider avec la section 2; sinon, les valeurs mesurées doivent être transposées à celle-ci (voir 3.5.2.1.3)	2', 2" ..
1.3.3.1.5	Spécifié	Indice désignant les valeurs de grandeurs telles que la vitesse de rotation, le débit, etc. pour lesquelles d'autres grandeurs sont garanties	sp
1.3.3.1.6	Maximal/minimal	Indices désignant la valeur maximale ou minimale d'une grandeur quelconque	max min
1.3.3.1.7	Limites	Valeurs définies contractuellement: – à ne pas dépasser – à atteindre	<u>///</u> ☐ ou <u>////</u>
1.3.3.1.8	Prototype	Indice désignant les valeurs relatives à la machine en vraie grandeur	P
1.3.3.1.9	Modèle	Indice désignant les valeurs relatives à la machine modèle	M
1.3.3.1.10	Modèle à nombre de Reynolds constant	Indice désignant les valeurs relatives à la machine modèle et rapportées à une valeur constante du nombre de Reynolds	M*
1.3.3.1.11	Référence	Indice désignant les valeurs relatives à des conditions de référence spécifiées	ref
1.3.3.1.12	Optimum	Indice désignant le point de meilleur rendement	opt
1.3.3.1.13	Ambiant	Indice se référant aux conditions atmosphériques environnantes	amb
1.3.3.1.14	Aménagement	Indice désignant les valeurs relatives aux conditions de fonctionnement du prototype sur le site	pl
1.3.3.1.15	Emballement	Indice se référant aux conditions de fonctionnement à l'emballement	R
1) Les termes «haute pression» et «basse pression» définissent les deux côtés de la machine quel que soit le sens de l'écoulement; ils ne dépendent donc pas du mode de fonctionnement de la machine.			

1.3.3 List of terms, definitions, symbols and units

1.3.3.1 Subscripts and symbols

Subclause	Term	Definition	Subscript or symbol
1.3.3.1.1	High pressure ¹⁾ reference section	The high pressure section of the machine to which the performance guarantees refer (see figure 1)	1
1.3.3.1.2	Low pressure ¹⁾ reference section	The low pressure section of the machine to which the performance guarantees refer (see figure 1)	2
1.3.3.1.3	High pressure measuring sections	Whenever possible, these sections should coincide with section 1; otherwise the measured values must be adjusted to section 1 (see 3.5.2.1.3)	1', 1" ..
1.3.3.1.4	Low pressure measuring sections	Whenever possible, these sections should coincide with section 2; otherwise, the measured values must be adjusted to section 2 (see 3.5.2.1.3)	2', 2" ..
1.3.3.1.5	Specified	Subscript denoting values of quantities such as rotational speed, discharge etc. for which other quantities are guaranteed	sp
1.3.3.1.6	Maximum/minimum	Subscript denoting maximum or minimum values of any term	max min
1.3.3.1.7	Limits	Contractually defined values – not to be exceeded – to be reached	$\square$ or $\square$
1.3.3.1.8	Prototype	Subscript denoting values related to the full size machine	P
1.3.3.1.9	Model	Subscript denoting values related to the model	M
1.3.3.1.10	Model at constant Reynolds number	Subscript denoting values related to a model and referred to a constant value of Reynolds number	M*
1.3.3.1.11	Reference	Subscript denoting values related to a specified reference condition	ref
1.3.3.1.12	Optimum	Subscript denoting the best efficiency point	opt
1.3.3.1.13	Ambient	Subscript referring to surrounding atmospheric conditions	amb
1.3.3.1.14	Plant	Subscript denoting values related to the operating conditions of the prototype in the plant	pl
1.3.3.1.15	Runaway	Subscript referring to runaway conditions	R
¹⁾ The terms "high pressure" and "low pressure" define the two sides of the machine irrespective of the flow direction and therefore are independent of the mode of operation of the machine.			

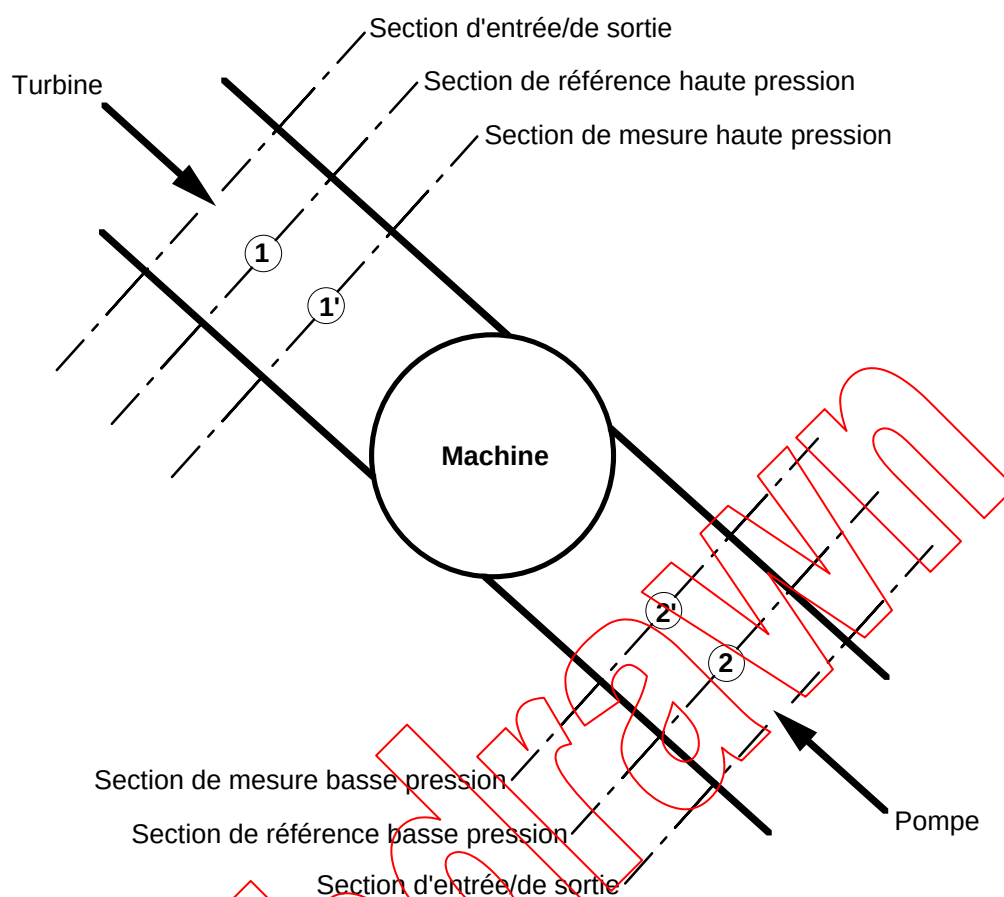
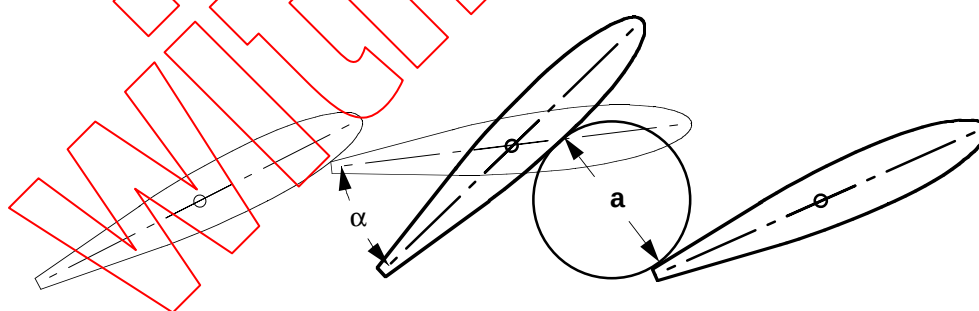


Figure 1 – Représentation schématique d'une machine hydraulique



Position fermée: $\alpha = 0^\circ$ ou $a = 0 \text{ mm}$

Figure 2 – Ouverture et angle du distributeur

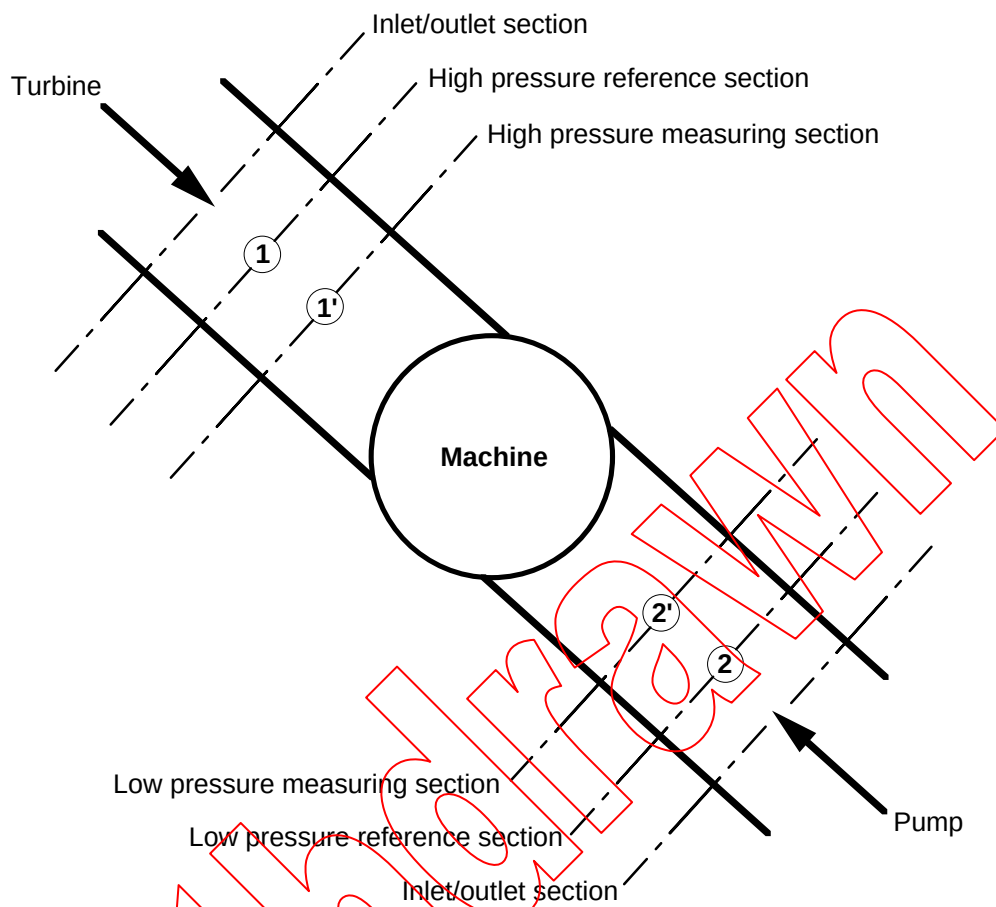
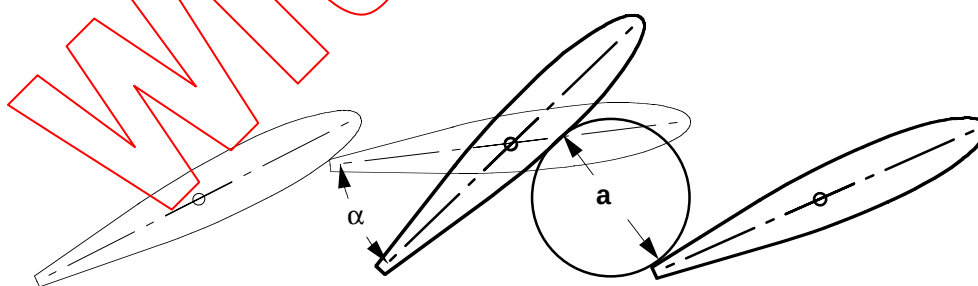


Figure 1– Schematic representation of a hydraulic machine



Closed position: $\alpha = 0^\circ$ or $a = 0$ mm

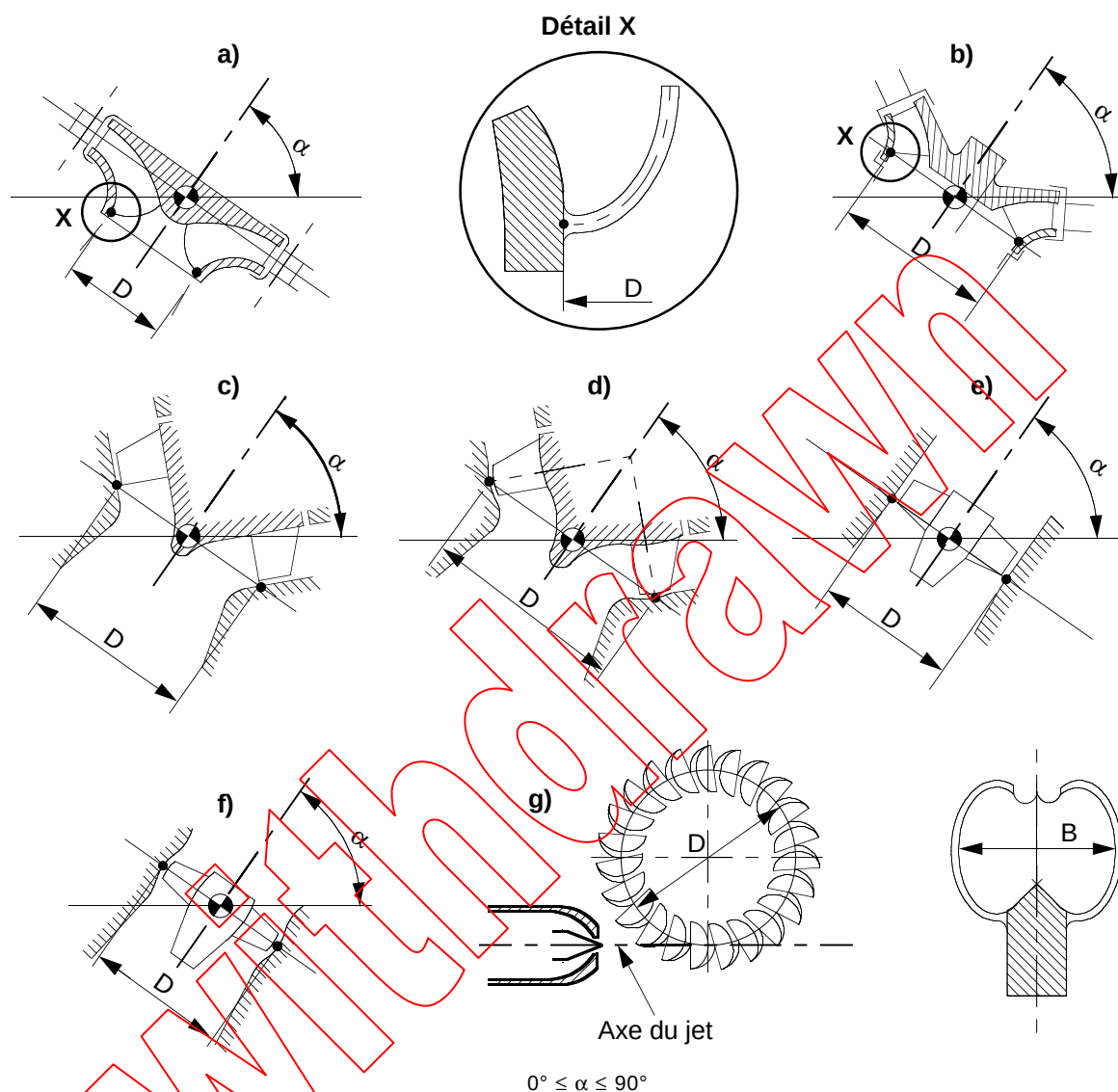
Figure 2 – Guide vane opening and angle

1.3.3.2 Termes géométriques

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.2.1	Aire	Aire nette d'une section transversale normale à la direction générale de l'écoulement	A	m ²
1.3.3.2.2	Ouverture du distributeur	Distance minimale moyenne entre aubes directrices adjacentes (dans une section spécifiée, si nécessaire) (voir figure 2)	a	m
1.3.3.2.3	Angle du distributeur	Angle moyen des aubes directrices mesuré à partir de la position fermée (voir figure 2)	α	°
1.3.3.2.4	Course de l'injecteur (turbine à action)	Course moyenne des pointeaux mesurée à partir de la position fermée	s	m
1.3.3.2.5	Inclinaison des pales de la roue	Inclinaison moyenne des pales de la roue mesurée à partir d'une position de référence	β	°
1.3.3.2.6	Diamètre de référence	Diamètre de référence de la machine hydraulique tel que défini sur la figure 3	D	m
1.3.3.2.7	Largeur de sortie / d'entrée de la roue	Plus courte distance moyenne entre deux aubes adjacentes de la roue (voir figures 14 et 15)	a_1, a_2	m
1.3.3.2.8	Largeur d'auget	Largeur intérieure maximale d'un auget de roue de turbine Pelton (voir figure 3)	B	m
1.3.3.2.9	Echelle de longueur	Rapport d'une longueur représentative du prototype à la longueur correspondante du modèle, normalement le diamètre de référence de la machine. Lorsqu'il est difficile de vérifier cette référence, une autre longueur significative peut être choisie	λ_L	-
1.3.3.2.10	Niveau	Cote d'un point du système par rapport au niveau de référence spécifié (habituellement le niveau moyen de la mer)	z	m

1.3.3.2 Geometric terms

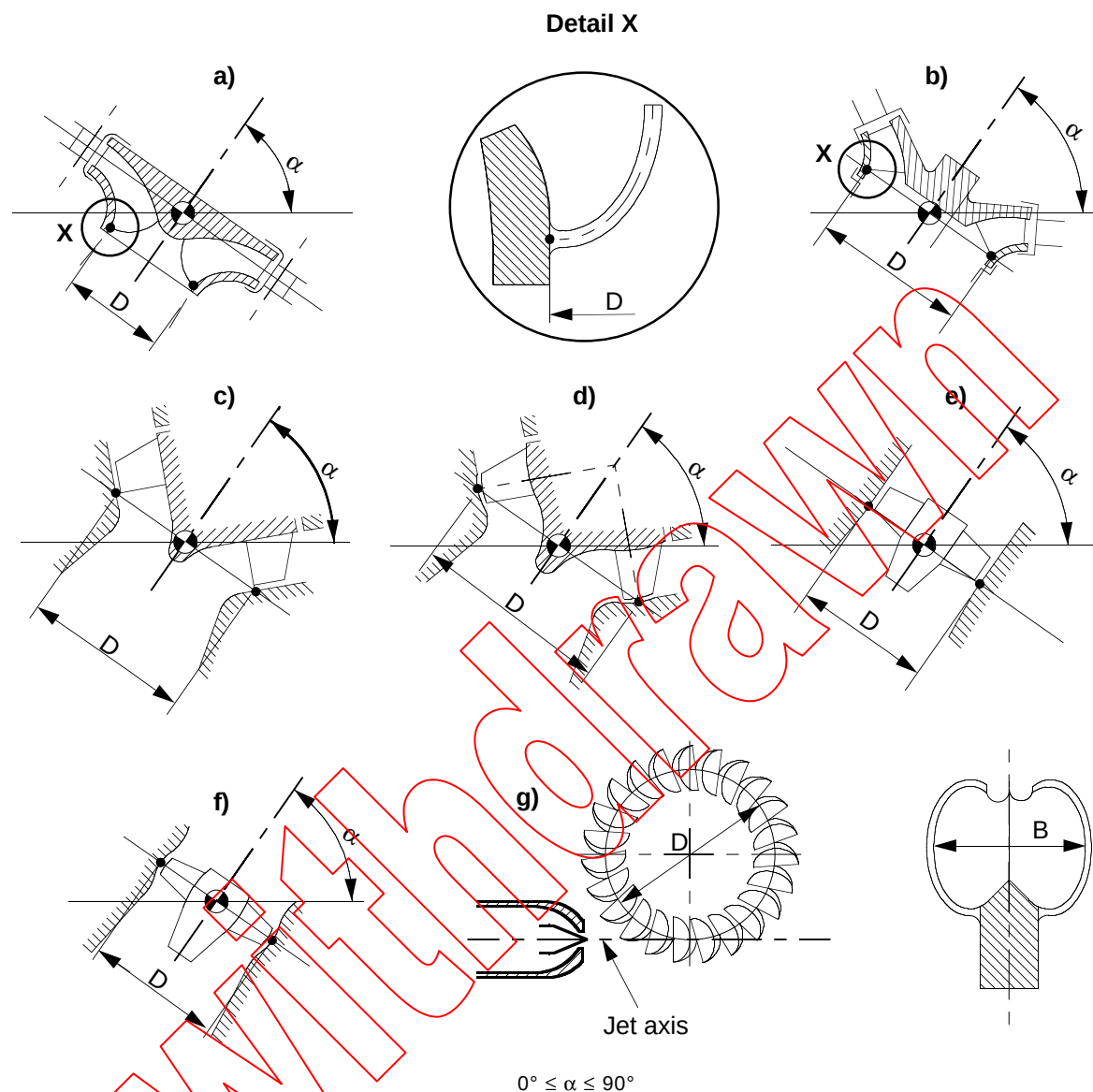
Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.2.1	Area	Net cross sectional area normal to general flow direction	A	m ²
1.3.3.2.2	Guide vane opening	Average shortest distance between adjacent guide vanes (at a specified section if necessary) (see figure 2)	a	m
1.3.3.2.3	Guide vane angle	Average vane angle measured from closed position (see figure 2)	α	°
1.3.3.2.4	Needle stroke (impulse turbine)	Average needle stroke measured from closed position	s	m
1.3.3.2.5	Runner/impeller blade angle	Average runner/impeller blade setting measured from a reference position	β	°
1.3.3.2.6	Reference diameter	Reference diameter of the hydraulic machine as given in figure 3	D	m
1.3.3.2.7	Runner outlet/impeller inlet width	Average shortest distance between two adjacent blades of runner/impeller (see figures 14 and 15)	a_1, a_2	m
1.3.3.2.8	Bucket width	Inside maximum width of runner bucket of a Pelton turbine (see figure 3)	B	m
1.3.3.2.9	Length scale ratio	The ratio of representative prototype to model lengths; in normal cases this is the reference diameter of the machine. In cases where it is difficult to verify this reference, then another significant length may be taken	λ_L	-
1.3.3.2.10	Level	Elevation of a point in the system above the specified reference datum (usually mean sea level)	z	m



- a) Machines radiales, telles que les turbines Francis, les pompes et pompes-turbines centrifuges; pour les machines multi-étagées, on considère l'étage basse pression.
- b) Machines diagonales à pales fixes avec ceinture de roue.
- c) Machines diagonales à pales fixes sans ceinture de roue.
- d) Machines diagonales à pales réglables.
- e) Machines axiales, telles que les turbines hélices, turbines tubulaires¹⁾, pompes et pompes-turbines axiales, à pales fixes.
- f) Machines axiales, telles que les turbines Kaplan, turbines tubulaires¹⁾, pompes et pompes-turbines axiales, à pales réglables.
- g) Turbines Pelton.

Figure 3 – Diamètre de référence et largeur d'auget

¹⁾ Le terme «turbines tubulaires» inclut les bulbes, les groupes puits, les groupes à générateur périphérique et les groupes en S.



- a) Radial machines, such as Francis turbines, radial (centrifugal) pumps and pump-turbines; for multistage machines: low-pressure stage.
- b) Diagonal (mixed-flow, semi-axial) machines with fixed runner/impeller blades and with runner/impeller band.
- c) Diagonal (mixed-flow, semi-axial) machines with fixed runner/impeller blades, without runner/impeller band.
- d) Diagonal (mixed-flow, semi-axial) machines with adjustable runner/impeller blades.
- e) Axial machines, such as propeller turbines, tubular turbines¹⁾, axial pumps and pump-turbines with fixed runner/impeller blades.
- f) Axial machines, such as Kaplan turbines, tubular turbines¹⁾, axial pumps and pump-turbines with adjustable runner/impeller blades.
- g) Pelton turbines.

Figure 3 – Reference diameter and bucket width

¹⁾ The term "tubular turbines" includes bulb, pit, rim generator and S-type units.

1.3.3.3 Grandeurs et propriétés physiques

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.3.1	Accélération due à la pesanteur	Valeur locale de l'accélération due à la pesanteur à l'endroit de l'essai (voir 2.5.2); les valeurs théoriques en fonction de l'altitude et de la latitude sont données à l'annexe B, tableau B.1.	g	m s ⁻²
1.3.3.3.2	Température	Température thermodynamique Température Celsius $\theta = \Theta - 273,15$	Θ θ	K °C
1.3.3.3.3	Masse volumique	Masse par unité de volume a) Masse volumique de l'eau On utilise communément ρ au lieu de ρ_w . Les valeurs pour l'eau distillée ρ_{wd} sont données en 2.5.3.1.3 et à l'annexe B, tableau B.2 b) Masse volumique de l'air Les valeurs pour l'air sont données en 2.5.4.1 et à l'annexe B, tableau B.5 c) Masse volumique du mercure Les valeurs pour le mercure sont données en 2.5.5 et à l'annexe B, tableau B.7	ρ ρ_w ρ_a ρ_{Hg}	kg m ⁻³ kg m ⁻³ kg m ⁻³ kg m ⁻³
1.3.3.3.4	Pression de vapeur (absolue)	Pression partielle absolue de la vapeur saturée dans un milieu où les phases liquide et gazeuse d'un corps sont en équilibre thermodynamique. La pression de vapeur ne dépend que de la température. Les valeurs pour l'eau distillée sont données en 2.5.3.4 et à l'annexe B, tableau B.4	p_{va}	Pa
1.3.3.3.5	Viscosité dynamique	Grandeur caractérisant le comportement mécanique d'un fluide (voir ISO 31-3)	μ	Pa s
1.3.3.3.6	Viscosité cinématique	Rapport de la viscosité dynamique à la masse volumique d'un fluide. Les valeurs pour l'eau distillée sont données en fonction de la température en 2.5.3.3 et à l'annexe B, tableau B.3	ν	m ² s ⁻¹
1.3.3.3.7	Tension superficielle	Grandeur caractérisant le comportement mécanique de l'interface entre deux fluides (voir ISO 31-3)	σ^*	J·m ⁻²

1.3.3.3 Physical quantities and properties

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.3.1	Acceleration due to gravity	Local value of gravitational acceleration at the place of testing (see 2.5.2); theoretical values as a function of altitude and latitude are given in annex B, table B.1	g	m s^{-2}
1.3.3.3.2	Temperature	Thermodynamic Celsius $\theta = \Theta - 273,15$	Θ θ	K $^{\circ}\text{C}$
1.3.3.3.3	Density	Mass per unit volume a) Density of water ρ is commonly used instead of ρ_w . Values for distilled water ρ_{wd} are given in 2.5.3.1.3 and in annex B, table B.2 b) Density of air Values for air are given in 2.5.4.1 and in annex B, table B.5 c) Density of mercury Values for mercury are given in 2.5.5 and in annex B, table B.7	ρ ρ_w ρ_a ρ_{Hg}	kg m^{-3} kg m^{-3} kg m^{-3} kg m^{-3}
1.3.3.3.4	Vapour pressure (absolute)	Absolute partial pressure of saturated vapour in a medium where liquid and gaseous phases of a body are in thermodynamic balance. The vapour pressure depends only on the temperature. Values for distilled water are given in 2.5.3.4 and in annex B, table B.4	p_{va}	Pa
1.3.3.3.5	Dynamic viscosity	A quantity characterizing the mechanical behaviour of a fluid (see ISO 31-3)	μ	Pa s
1.3.3.3.6	Kinematic viscosity	Ratio of the dynamic viscosity to the density of a fluid. Values for distilled water as a function of temperature are given in 2.5.3.3 and in annex B, table B.3	ν	$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$
1.3.3.3.7	Surface tension	A quantity characterizing the mechanical behaviour of the interface between two fluids (see ISO 31-3)	σ^*	$\text{J} \cdot \text{m}^{-2}$

1.3.3.4 Termes relatifs au débit, à la vitesse d'écoulement et à la vitesse de rotation

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.4.1	Débit (Débit-volume)	Volume d'eau s'écoulant par unité de temps à travers une section	Q	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.2	Débit-masse	Masse d'eau s'écoulant par unité de temps à travers une section. ρ et Q doivent être tous deux déterminés dans la même section et dans les conditions qui y règnent NOTE – Le débit-masse est invariable entre deux sections s'il n'existe entre celles-ci ni apport ni prélèvement d'eau	(ρQ)	kg s^{-1}
1.3.3.4.3	Débit mesuré	Volume d'eau s'écoulant par unité de temps à travers une section de mesure, par exemple 1' (voir 1.3.3.1.3 et 1.3.3.1.4)	$Q_{1'}$ ou $Q_{2'}$	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.4	Débit dans une section de référence	Volume d'eau s'écoulant par unité de temps à travers la section de référence 1 ou 2	Q_1 ou Q_2	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.5	Débit corrigé dans une section de référence	Volume d'eau transposé aux conditions ambiantes (voir 1.3.3.5.2) s'écoulant par unité de temps à travers une section de référence, par exemple $Q_{1c} = (\rho Q)_1 / \rho_{\text{amb}}$ Compte tenu des conditions habituelles d'un essai sur modèle, on peut admettre que $Q_{1c} = Q_1$	Q_{1c} ou Q_{2c}	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.6	Débit à la vitesse d'emballement stabilisé	Débit à la vitesse n_R (voir 1.3.3.4.12)	Q_R	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.7	Débit de marche à vide	Débit d'une turbine à puissance mécanique nulle à la vitesse spécifiée (habituellement la vitesse synchrone) et sous l'énergie hydraulique massique spécifiée	Q_0	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.8	Débit de fuite	Perte volumétrique, comme illustré sur la figure 6	q	$\text{m}^3 \text{s}^{-1}$
1.3.3.4.9	Vitesse débitante	Rapport du débit-volume Q à l'aire A de la section de passage	v	m s^{-1}
1.3.3.4.10	Vitesse périphérique	Vitesse périphérique au diamètre de référence (voir figure 3): $u = \pi D n$	u	m s^{-1}
1.3.3.4.11	Vitesse de rotation	Nombre de tours de la machine par unité de temps	n	s^{-1}
1.3.3.4.12	Vitesse d'emballement stabilisé	Vitesse de rotation en régime permanent à puissance mécanique nulle dans les conditions hydrauliques spécifiées et à l'ouverture spécifiée du distributeur, des pales ou de l'injecteur	n_R	s^{-1}
1.3.3.4.13	Vitesse maximale d'emballement stabilisé	Valeur maximale de la vitesse d'emballement stabilisé dans les conditions hydrauliques spécifiées (pour le prototype, voir définition détaillée dans la CEI 60041)	$n_{R\text{max}}$	s^{-1}

1.3.3.4 Discharge, velocity and speed terms

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.4.1	Discharge (volume flow rate)	Volume of water per unit time passing through any section in the system	Q	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.2	Mass flow rate	Mass of water flowing through any section of the system per unit time. Both ρ and Q shall be determined at the same section and at the conditions existing in that section NOTE – The mass flow rate is constant between two sections if no water is added or removed	(ρQ)	kg s ⁻¹
1.3.3.4.3	Measured discharge	Volume of water per unit time flowing through any measuring section, e.g. 1' (see 1.3.3.1.3 and 1.3.3.1.4)	Q ₁ or Q ₂	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.4	Discharge at reference section	Volume of water per unit time flowing through the reference section 1 or 2	Q ₁ or Q ₂	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.5	Corrected discharge at reference section	Volume of water per unit time flowing through the reference section referred to the ambient condition (see 1.3.3.5.2), e.g. $Q_{1c} = (\rho Q)_1 / \rho_{amb}$ Given the normal conditions of a model test, Q_{1c} may be assumed equal to Q ₁	Q _{1c} or Q _{2c}	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.6	Discharge at steady-state runaway speed	Discharge at n_R (see 1.3.3.4.12)	Q _R	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.7	No-load turbine discharge	Turbine discharge at zero mechanical power at specified speed (usually synchronous) and specified specific hydraulic energy	Q ₀	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.8	Leakage flowrate	Volumetric loss as illustrated in figure 6	q	m ³ s ⁻¹
1.3.3.4.9	Mean velocity	Discharge Q divided by area A of the cross-section	v	m s ⁻¹
1.3.3.4.10	Peripheral velocity	Peripheral velocity at the reference diameter (see figure 3): $u = \pi D n$	u	m s ⁻¹
1.3.3.4.11	Rotational speed	Number of revolutions per unit time	n	s ⁻¹
1.3.3.4.12	Steady-state runaway speed	The steady-state rotational speed at zero mechanical power at specified hydraulic conditions and specified guide vane/blade/needle opening	n_R	s ⁻¹
1.3.3.4.13	Maximum steady-state runaway speed	The highest value of steady-state runaway speed at specified hydraulic conditions (for the prototype, see detailed definition in IEC 60041)	n_{Rmax}	s ⁻¹

1.3.3.5 Termes relatifs à la pression

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.5.1	Pression statique (absolue)	Pression statique d'un fluide mesurée par rapport au vide absolu	p_{abs}	Pa
1.3.3.5.2	Pression ambiante	Pression absolue de l'air ambiant (voir 2.5.4.2). Les valeurs pour l'atmosphère-type sont données en fonction de l'altitude au tableau B.6	p_{amb}	Pa
1.3.3.5.3	Pression effective ¹⁾	Différence entre la pression statique absolue d'un fluide au niveau de référence de l'appareil de mesure de la pression et la pression ambiante au lieu et à l'instant du mesurage: $p = p_{abs} - p_{amb}$	p	Pa

1.3.3.6 Termes relatifs à l'énergie massique

L'unité de masse (kg) étant l'une des unités de base du Système International, c'est l'énergie par unité de masse, appelée «énergie massique», qui est utilisée dans la présente norme comme grandeur fondamentale, et non l'énergie par unité locale de poids, c'est-à-dire la hauteur; celle-ci était seule utilisée dans les publications précédentes.

Cette dernière grandeur (hauteur) présente l'inconvénient que le poids est une force qui dépend de la valeur locale de l'accélération due à la pesanteur g , laquelle varie principalement avec la latitude et aussi avec l'altitude. On continuera cependant à employer le terme «hauteur» en raison de son usage très général. On trouvera donc ci-après deux listes de termes relatifs à l'énergie, l'une dans le présent paragraphe sous forme d'énergie massique et l'autre en 1.3.3.7 sous forme de hauteur. Les termes correspondants ne diffèrent que par le facteur g , valeur locale de l'accélération due à la pesanteur.

¹⁾ Bien que le terme «pression relative» ait été couramment utilisé dans le passé, son emploi dans ce sens est à déconseiller.

1.3.3.5 Pressure terms

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.5.1	Absolute pressure	The static pressure of a fluid measured with reference to a perfect vacuum	p_{abs}	Pa
1.3.3.5.2	Ambient pressure	The absolute pressure of the ambient air (see 2.5.4.2). Values for standard atmosphere are given as a function of elevation in annex B, table B.6	p_{amb}	Pa
1.3.3.5.3	Gauge pressure	The difference between the absolute static pressure of a fluid at the reference level of the pressure measuring instrument and the ambient pressure at the place and time of measurement, $p = p_{abs} - p_{amb}$	p	Pa

1.3.3.6 Specific energy terms

In the International System of Units, mass (kg) is one of the base quantities. The energy per unit mass, known as specific energy, is used in this standard as a primary term instead of the energy per local unit weight which is called head, and was exclusively used in previous publications.

The latter term (head) has the disadvantage that weight is a force which depends on the local value of acceleration due to gravity g , which changes mainly with latitude but also with altitude. Nevertheless, the term "head" will still remain in use because it is very common. Therefore, both related energy terms are listed, the specific energy terms in this subclause and head terms in 1.3.3.7. They differ only by the factor g , which is the local value of acceleration due to gravity.

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.6.1	Energie massique	Energie de l'eau par unité de masse dans une section quelconque	e	J kg ⁻¹
1.3.3.6.2	Energie hydraulique massique de la machine	Energie massique de l'eau disponible entre les sections de référence haute et basse pression de la machine en tenant compte de l'influence de la compressibilité ^{1) 2)} . $E = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2)g$ avec $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ et en admettant $g = g_1 = g_2$ Les valeurs de p_1 et p_2 peuvent être calculées à partir de p_{abs1} et p_{abs2} respectivement en tenant compte de θ_1 ou θ_2 dans les deux cas, car la différence de ces températures n'a qu'une influence négligeable sur ρ	E	J kg ⁻¹
1.3.3.6.3	Energie hydraulique massique d'une pompe à débit nul	Energie hydraulique massique d'une pompe pour une vitesse de rotation spécifiée et des ouvertures spécifiées du distributeur et des pales de la roue lorsque la vanne côté haute pression est fermée	E ₀	J kg ⁻¹
1.3.3.6.4	Energie potentielle massique d'aspiration de la machine	Energie potentielle massique à la section 2 correspondant à la différence entre le niveau de référence de la machine (voir 1.3.3.7.6) et le niveau piézométrique dans la section 2 $E_s = g(z_r - z_2') = g(z_r - z_2) - \frac{p_{abs2} - p_{amb}}{\rho_2}$ (voir figure 45)	E _s	J kg ⁻¹
1.3.3.6.5	Energie massique nette à l'aspiration	Energie massique absolue à la section de référence basse pression, rapportée au niveau de référence de la machine et diminuée de l'énergie massique correspondant à la pression de vapeur p_{va} ³⁾ (voir figure 45) $NPSE = \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g(z_r - z_2)$ $= -E_s + \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$	NPSE	J kg ⁻¹
¹⁾ Le paragraphe 3.5 illustre quelques cas usuels d'application de la formule de base définissant l'énergie hydraulique massique. ²⁾ Voir l'annexe C pour la façon d'établir E. ³⁾ Voir 1.3.3.3.4.				

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.6.1	Specific energy	The energy per unit mass of water at any section	e	J kg ⁻¹
1.3.3.6.2	Specific hydraulic energy of machine	Specific energy of water available between the high and low pressure reference sections 1 and 2 of the machine, taking into account the influence of compressibility^{1) 2)} $E = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2)g$ with $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ and assuming $g = g_1 = g_2$ The value of ρ_1 and ρ_2 can be calculated from p_{abs1} and p_{abs2} respectively, taking into account θ_1 or θ_2 for both values, given the negligible influence of the difference of the temperature on ρ	E	J kg ⁻¹
1.3.3.6.3	Zero-discharge (shut-off) specific hydraulic energy of the pump	Pump specific energy at specified speed and specified guide vane and impeller blade settings with high pressure side shut off	E _o	J kg ⁻¹
1.3.3.6.4	Suction specific potential energy of the machine	Specific potential energy at section 2 corresponding to the difference between the reference level of the machine (see 1.3.3.7.6) and the piezometric level at section 2 $E_s = g(z_r - z_{2'}) = g(z_r - z_2) - \frac{p_{abs2} - p_{amb}}{\rho_2}$ (see figure 45)	E _s	J kg ⁻¹
1.3.3.6.5	Net positive suction specific energy	Absolute specific energy at section 2 minus the specific energy due to the vapour pressure p_{va}³⁾ referred to the reference level of the machine (see figure 45) $NPSE = \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g(z_r - z_2)$ $= -E_s + \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2}$	NPSE	J kg ⁻¹
¹⁾ Subclause 3.5 illustrates some common cases of application of the basic formula for the specific hydraulic energy. ²⁾ For derivation of E, see annex C. ³⁾ See 1.3.3.3.4.				

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.6.6	Nombre de Thoma	Terme sans dimension caractérisant les conditions de cavitation dans lesquelles la machine fonctionne. Il s'exprime en tant que rapport de l'énergie massique nette à l'aspiration NPSE à l'énergie hydraulique massique E (voir 1.3.3.12.9)	σ	-
1.3.3.6.7	Coefficient de cavitation	Terme sans dimension caractérisant les conditions de cavitation dans lesquelles la machine fonctionne. Il s'exprime en tant que rapport de l'énergie massique nette à l'aspiration NPSE à $n^2 D^2$ (voir 1.3.3.12.10)	σ_{nD}	-
1.3.3.6.8	Nombre de Thoma zéro ¹⁾	Plus petite valeur du nombre de Thoma pour laquelle une grandeur de fonctionnement déterminée (généralement le rendement) reste inchangée comparée à sa valeur à nombre de Thoma élevé. Dans certains cas, la forme de la courbe de cavitation $\eta_h(\sigma)$ est telle que le nombre de Thoma zéro est difficile à définir (voir figure 4)	σ_0	-
1.3.3.6.9	Nombre de Thoma un ¹⁾	Valeur du nombre de Thoma pour laquelle on observe une chute de rendement d'un point de pourcentage par rapport au rendement à nombre de Thoma zéro. Dans certains cas, la forme de la courbe de cavitation est telle que le nombre de Thoma un est difficile à définir (voir figure 4)	σ_1	-
1.3.3.6.10	Nombre de Thoma défini ¹⁾	Valeur du nombre de Thoma associée à une manifestation définie de la cavitation, par exemple une baisse spécifiée de performance	σ_d	-
1.3.3.6.11	Nombre de Thoma d'apparition ¹⁾	Valeur du nombre de Thoma associée à l'apparition d'une cavitation visible à la roue, habituellement repérée par observation	σ_i	-
1.3.3.6.12	Nombre de Thoma d'installation	Valeur du nombre de Thoma dans les conditions de fonctionnement du prototype (voir annexe M)	σ_{pl}	-
1.3.3.6.13	Perte d'énergie hydraulique massique	Energie hydraulique massique dissipée entre deux sections quelconques	E_L	$J\ kg^{-1}$
¹⁾ Une définition similaire peut être donnée pour le coefficient de cavitation (voir figure 4).				

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.6.6	Thoma number	Dimensionless term indicating the conditions of cavitation under which the machine operates. It is expressed as the ratio of net positive suction specific energy NPSE to a specific hydraulic energy E (see 1.3.3.12.9)	σ	-
1.3.3.6.7	Cavitation coefficient	Dimensionless term indicating the conditions of cavitation under which the machine operates. It is expressed as the ratio of net positive suction specific energy NPSE to $n^2 D^2$ (see 1.3.3.12.10)	σ_{nD}	-
1.3.3.6.8	Thoma number zero ¹⁾	The lowest value of the Thoma number for which a chosen performance parameter (usually efficiency) remains unchanged as compared to its values at high Thoma number. In some cases, the shape of the cavitation curve $\eta_h(\sigma)$ is such that the Thoma number zero is difficult to define (see figure 4)	σ_0	-
1.3.3.6.9	Thoma number one ¹⁾	The value of the Thoma number for which a drop of one percentage point in efficiency is obtained compared with the efficiency at Thoma number zero. In some cases, the shape of the cavitation curve is such that the Thoma number one is difficult to define (see figure 4)	σ_1	-
1.3.3.6.10	Defined Thoma number ¹⁾	The value of the Thoma number associated with a defined onset of cavitation, e.g. a specified performance loss	σ_d	-
1.3.3.6.11	Incipient Thoma number ¹⁾	The value of the Thoma number associated with the beginning of visible runner/impeller cavitation usually detected by observation	σ_i	-
1.3.3.6.12	Plant Thoma number	The value of the Thoma number at the operating conditions of the prototype (see annex M)	σ_{pl}	-
1.3.3.6.13	Specific hydraulic energy loss	The specific hydraulic energy dissipated between any two sections	E_L	J kg ⁻¹
1) A similar definition can be given for cavitation coefficient (see figure 4).				

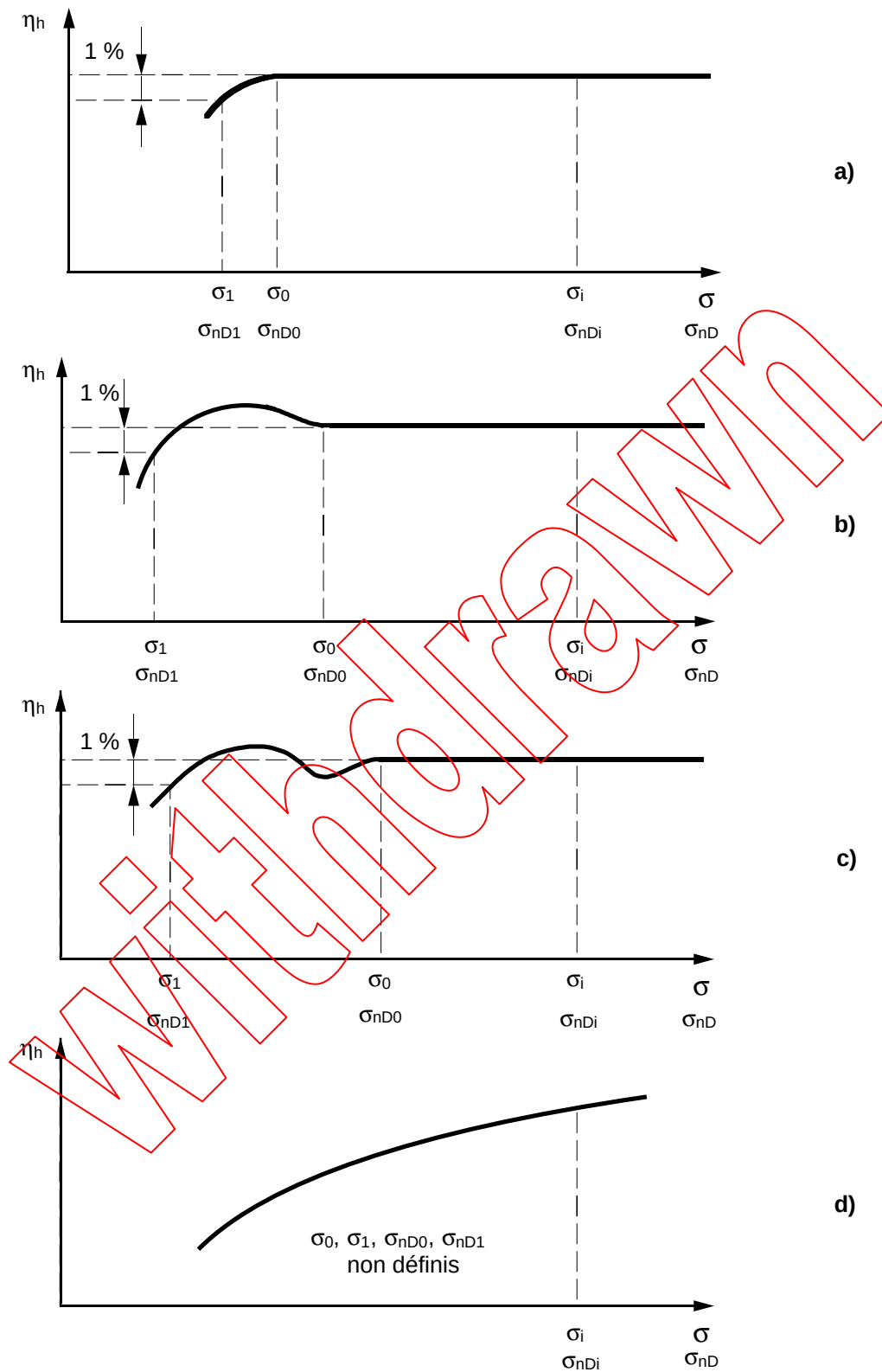
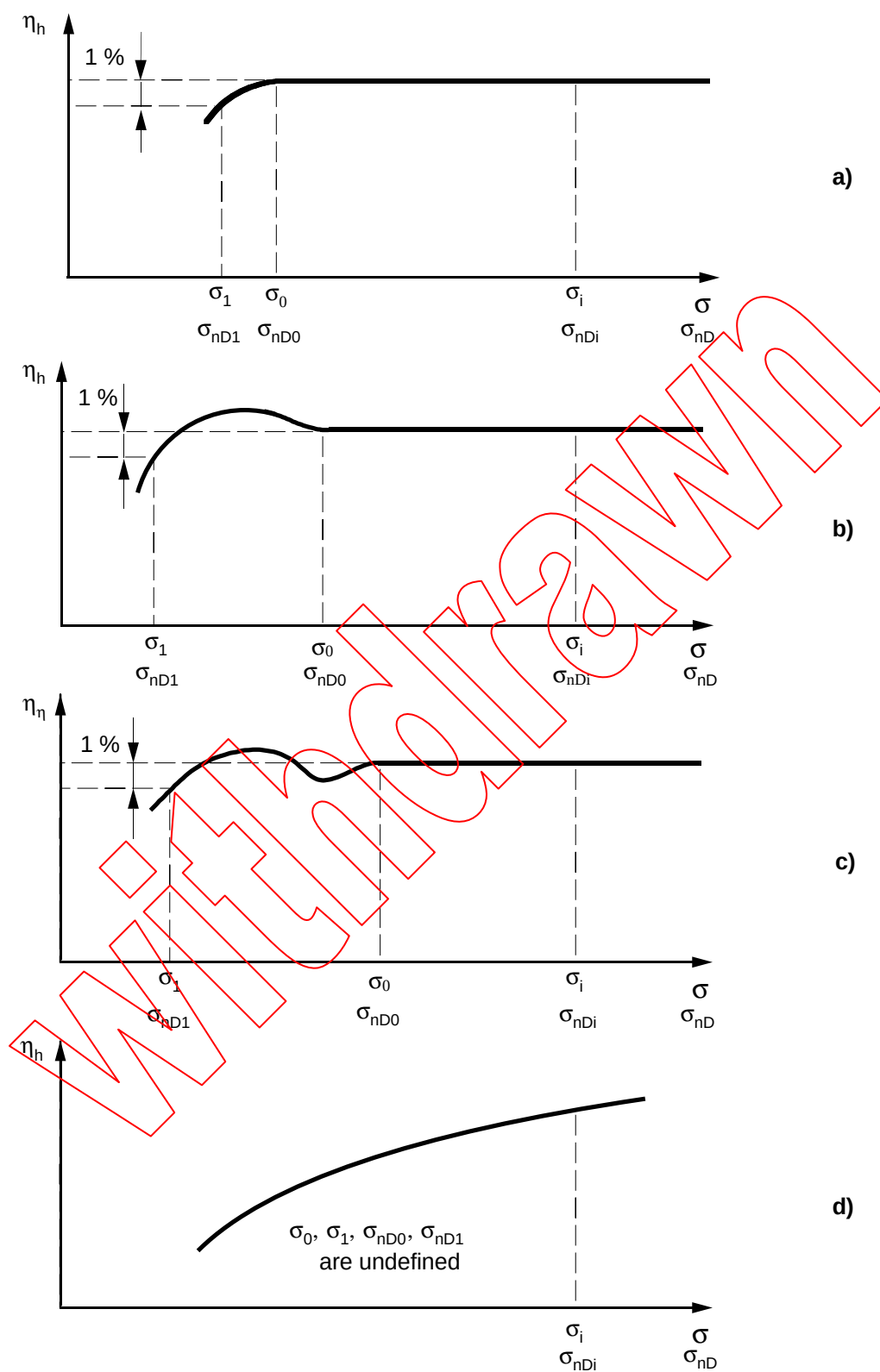


Figure 4 – Définition de σ_0 et σ_1

Figure 4 – Definition of σ_0 and σ_1

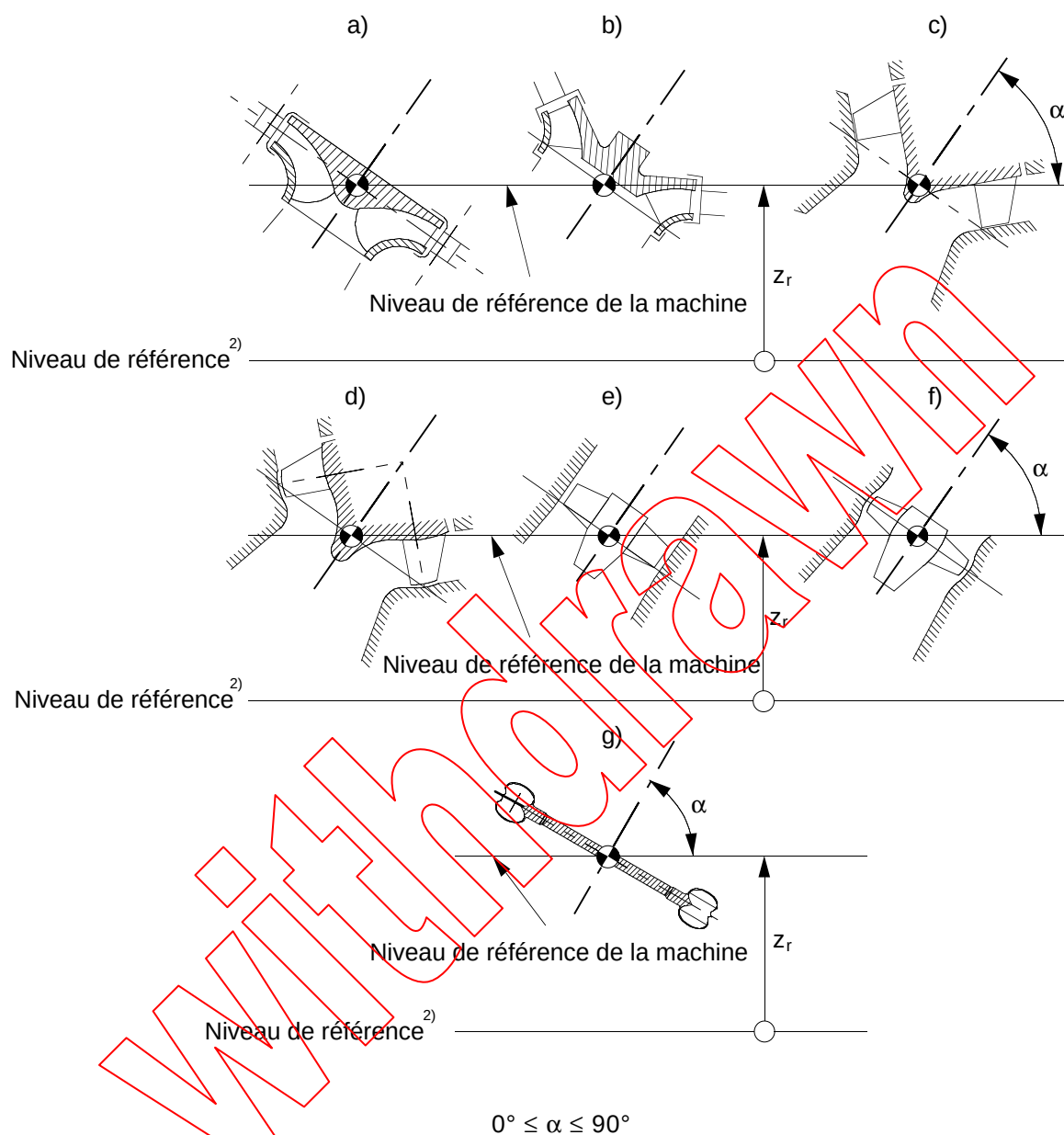
1.3.3.7 Termes relatifs à la hauteur géométrique et à la hauteur de charge

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.7.1	Hauteur de charge	Energie par unité de poids de l'eau dans une section quelconque $h = e/g$ Pour la définition de e , voir 1.3.3.6.1	h	m
1.3.3.7.2	Hauteur de chute nette (d'une turbine) ou hauteur nette de refoulement (d'une pompe)	$H = E/g$ Pour la définition de E , voir 1.3.3.6.2	H	m
1.3.3.7.3	Hauteur à débit nul d'une pompe	$H_0 = E_0/g$ Pour la définition de E_0 , voir 1.3.3.6.3	H_0	m
1.3.3.7.4	Hauteur géométrique d'aspiration	$Z_s = E_s/g$ Pour la définition de E_s , voir 1.3.3.6.4	Z_s	m
1.3.3.7.5	Hauteur de charge nette absolue à l'aspiration	$NPSH = NPSE/g$ Pour la définition de $NPSE$, voir 1.3.3.6.5	$NPSH$	m
1.3.3.7.6	Niveau de référence de la machine	Altitude du point de la machine pris comme référence pour le calage de la machine, tel que défini par la figure 5	z_r	m
1.3.3.7.7	Niveau de référence de cavitation	Altitude d'un point de la machine pris comme référence pour évaluer la cavitation lors des essais sur modèle (voir 2.3.1.5.1).	z_c	m
1.3.3.7.8	Niveau de référence de l'appareil de mesure de la pression	Altitude d'un appareil de mesure de pression (voir figure 38)	z_M	m

1.3.3.7 Height and head terms

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.7.1	Head	Energy per local unit weight of water at any section $h = e/g$ For the definition of e , see 1.3.3.6.1	h	m
1.3.3.7.2	Turbine or pump head	$H = E/g$ For the definition of E , see 1.3.3.6.2	H	m
1.3.3.7.3	Zero discharge (shut-off) head of pump	$H_0 = E_0 / g$ For the definition of E_0 , see 1.3.3.6.3	H_0	m
1.3.3.7.4	Suction height	$Z_s = E_s / g$ For the definition of E_s , see 1.3.3.6.4	Z_s	m
1.3.3.7.5	Net positive suction head	$NPSH = NPSE/g$ For the definition of $NPSE$, see 1.3.3.6.5	NPSH	m
1.3.3.7.6	Reference level of the machine	Elevation of a point of the machine taken as reference for the setting of the machine (see figure 5)	z_r	m
1.3.3.7.7	Cavitation reference level	Elevation of a point of the machine taken as reference for cavitation evaluation during model tests (see 2.3.1.5.1)	z_c	m
1.3.3.7.8	Reference level of the pressure measuring instrument	Elevation of a pressure measuring device (see figure 38)	z_M	m

Withdrawn



a) Machines radiales, telles que les turbines Francis, les pompes et pompes-turbines centrifuges; pour les machines multi-étagées, on considère l'étage basse pression.

b) Machines diagonales à pales fixes avec ceinture de roue.

c) Machines diagonales à pales fixes sans ceinture de roue.

d) Machines diagonales à pales réglables.

e) Machines axiales, telles que les turbines hélices, turbines tubulaires¹⁾, pompes et pompes-turbines axiales, à pales fixes.

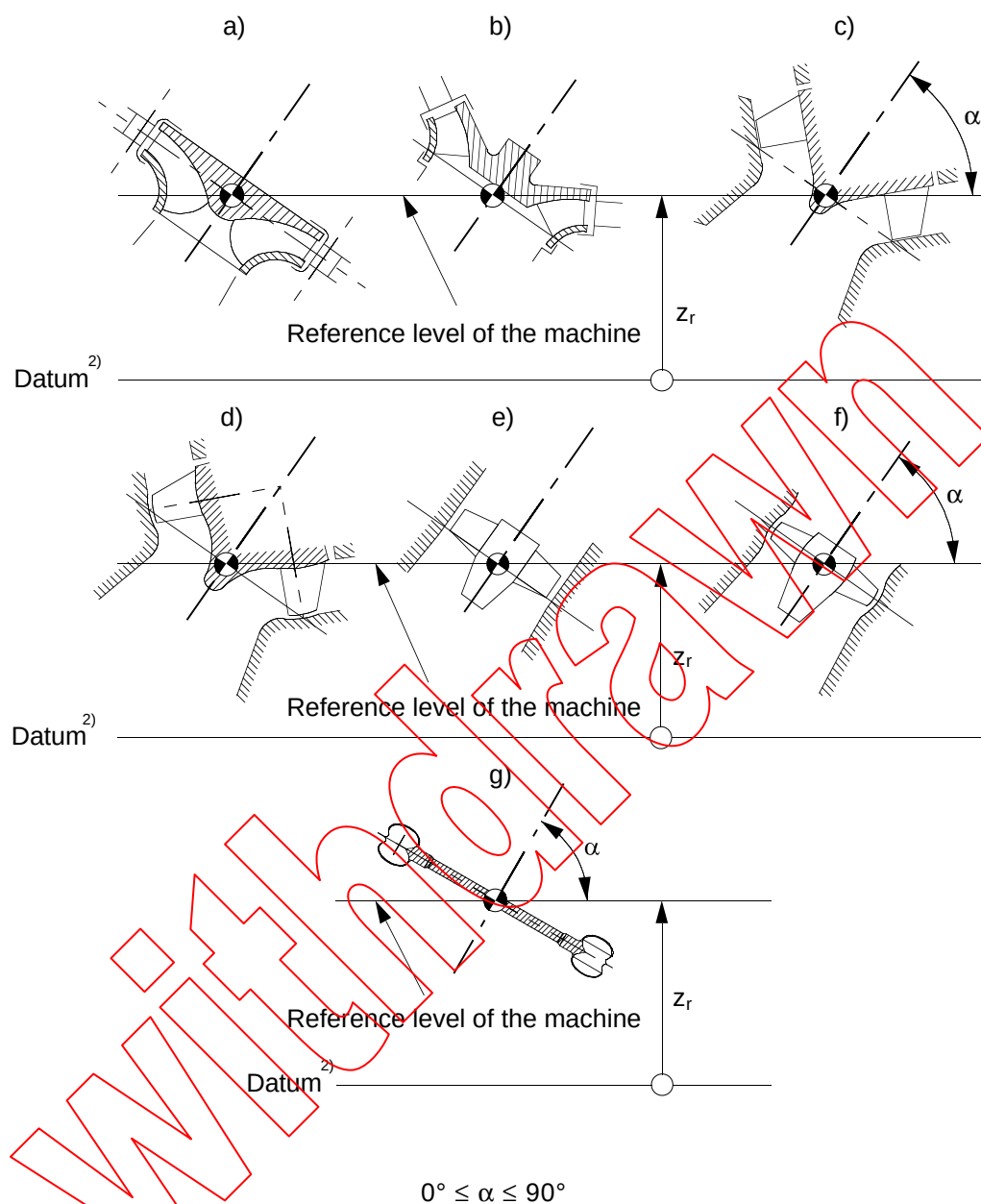
f) Machines axiales, telles que les turbines Kaplan, turbines tubulaires²⁾, pompes et pompes-turbines axiales, à pales réglables.

g) Turbines Pelton.

Figure 5 – Niveau de référence de la machine

¹⁾ Le terme «turbines tubulaires» inclut les bulbes, les groupes puits, les groupes à générateur périphérique et les groupes en S.

²⁾ Voir 1.3.3.2.10.



- a) Radial machines, such as Francis turbines, radial (centrifugal) pumps and pump-turbines; for multistage machines: low pressure stage.
- b) Diagonal (mixed-flow, semi-axial) machines with fixed runner/impeller blades and with runner/impeller band.
- c) Diagonal (mixed-flow, semi-axial) machines with fixed runner/impeller blades, without runner/impeller band.
- d) Diagonal (mixed-flow, semi-axial) machines with adjustable runner/impeller blades.
- e) Axial machines, such as propeller turbines, tubular turbines¹⁾, axial pumps and pump-turbines with fixed runner/impeller blades.
- f) Axial machines, such as Kaplan turbines, tubular turbines²⁾, axial pumps and pump-turbines with adjustable runner/impeller blades.
- g) Pelton turbines.

Figure 5 – Reference level of machine

¹⁾ The term "tubular turbines" includes bulb, pit, rim generator and S-type units.

²⁾ See 1.3.3.2.10.

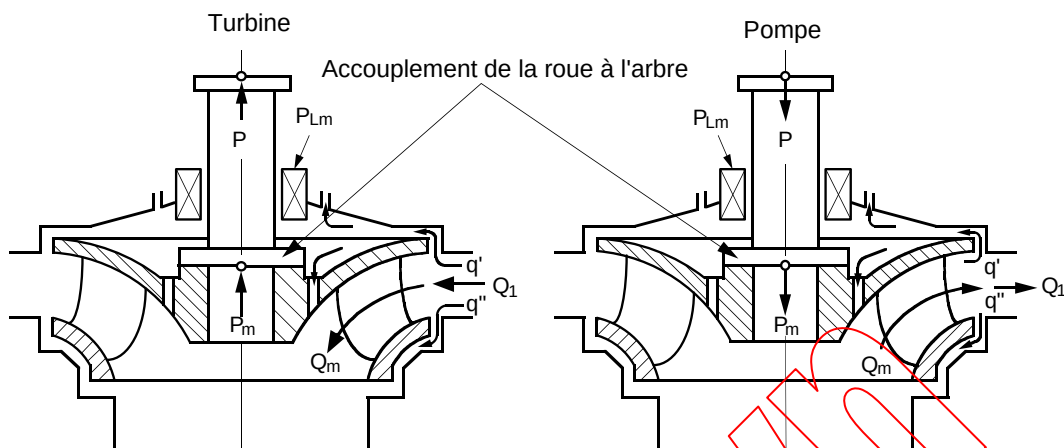
1.3.3.8 Termes relatifs à la puissance et au couple

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.8.1	Puissance hydraulique	Puissance disponible dans l'eau pour produire de l'énergie (cas d'une turbine) ou puissance transmise à l'eau (cas d'une pompe) $P_h = E(pQ)_1$	P_h	W
1.3.3.8.2	Puissance mécanique de la machine (puissance)	Puissance mécanique délivrée par l'arbre de la turbine ou transmise à l'arbre de la pompe, en imputant à la machine hydraulique les pertes mécaniques des paliers et des joints d'arbre qui lui sont propres (voir figure 6)	P	W
1.3.3.8.3	Puissance mécanique à la roue (ou aux roues)	Puissance mécanique transmise au niveau de l'accouplement de la roue (ou des roues) avec l'arbre (voir figure 6)	P_m	W
1.3.3.8.4	Pertes mécaniques	Puissance mécanique dissipée dans les paliers-guides, dans la butée et dans les joints d'arbre de la machine hydraulique (voir figure 6)	P_{Lm}	W
1.3.3.8.5	Puissance à débit nul d'une pompe	Puissance absorbée par la pompe à vitesse spécifiée et pour des ouvertures spécifiées du distributeur et de la roue lorsque la vanne côté haute pression est fermée	P_o	W
1.3.3.8.6	Couple sur l'arbre	Couple appliqué à l'arbre de la machine hydraulique et correspondant à la puissance mécanique de la machine (voir 1.3.3.8.2)	T	N·m
1.3.3.8.7	Couple à la roue	Couple transmis par l'accouplement de la roue et de l'arbre et correspondant à la puissance mécanique à la roue (voir 1.3.3.8.3)	T_m	N·m
1.3.3.8.8	Couple de frottement	Couple de frottement dans les paliers-guides, dans la butée et dans les joints d'arbre de la machine hydraulique (voir 1.3.3.8.4)	T_{Lm}	N·m

1.3.3.8 Power and torque terms

Subclause	Term	Definition	Symbol	Unit
1.3.3.8.1	Hydraulic power	The hydraulic power available for producing power (turbine) or imparted to the water (pump) $P_h = E(pQ)_1$	P_h	W
1.3.3.8.2	Mechanical power of the machine (power)	The mechanical power delivered by the turbine shaft or to the pump shaft, assigning to the hydraulic machine the mechanical losses of the relevant bearings and shaft seals (see figure 6)	P	W
1.3.3.8.3	Mechanical power of runner(s)/impeller(s)	Mechanical power transmitted through the coupling of the runner(s)/impeller(s) and the shaft (see figure 6)	P_m	W
1.3.3.8.4	Mechanical power losses	Mechanical power dissipated in guide bearings, thrust bearings and shaft seals of the hydraulic machine (see figure 6)	P_{Lm}	W
1.3.3.8.5	Zero discharge (shut-off) power of the pump	Pump power at specified speed and at specified guide vane and impeller settings with high pressure side shut-off	P_o	W
1.3.3.8.6	Shaft torque	Torque applied to the shaft of the hydraulic machine and corresponding to the mechanical power of the machine (see 1.3.3.8.2)	T	N·m
1.3.3.8.7	Runner/impeller torque	Torque transmitted through the coupling of the runner/impeller and the shaft and corresponding to the mechanical power of runner/impeller (see 1.3.3.8.3)	T_m	N·m
1.3.3.8.8	Friction torque	Friction torque in guide bearings, thrust bearings and shaft seals of the hydraulic machine (see 1.3.3.8.4)	T_{Lm}	N·m

Withhold

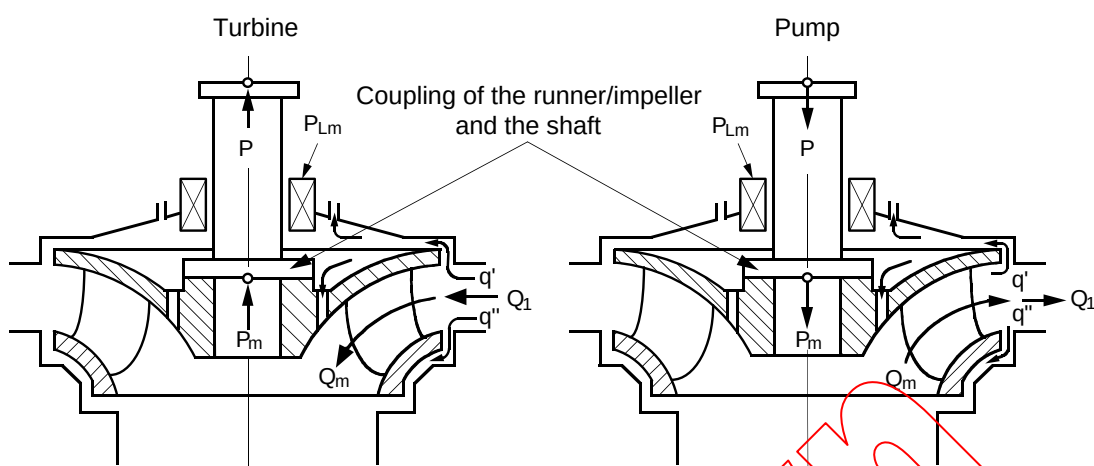


	Turbine	Pompe
	$q = q' + q''$	$q = q' + q''$
	$Q_1 = Q_m + q$	$Q_1 = Q_m - q$
	$P_h = E \cdot (\rho \cdot Q)_1$	$P_h = E \cdot (\rho \cdot Q)_1$
	$P = P_m - P_{Lm}$	$P = P_m + P_{Lm}$
Rendement volumétrique	$\eta_v = \frac{Q_m}{Q_1}$	$\eta_v = \frac{Q_1}{Q_m}$
Rendement hydraulique (note 3)	$\eta_h = \frac{P_m}{P_h}$	$\eta_h = \frac{P_h}{P_m}$
Rendement	$\eta = \frac{P}{P_h}$	$\eta = \frac{P_h}{P}$

NOTES

- 1) Ces formules ne tiennent pas compte de la compressibilité de l'eau.
- 2) Pour une analyse détaillée des pertes internes, on se reportera à l'annexe N.
- 3) Dans cette formule, les pertes par frottement de disque et les pertes volumétriques (débits de fuite) sont considérées comme des pertes hydrauliques. On appelle «pertes par frottement de disque» les pertes par frottement le long des surfaces extérieures de la roue qui ne sont pas en contact avec l'écoulement principal Q_m passant entre les aubes.

Figure 6 – Bilan schématique des puissances et des débits



	Turbine	Pump
	$q = q' + q''$	$q = q' + q''$
	$Q_1 = Q_m + q$	$Q_1 = Q_m - q$
	$P_h = E \cdot (p \cdot Q)_1$	$P_h = E \cdot (p \cdot Q)_1$
	$P = P_m - P_{Lm}$	$P = P_m + P_{Lm}$
Volumetric efficiency	$\eta_v = \frac{Q_m}{Q_1}$	$\eta_v = \frac{Q_1}{Q_m}$
Hydraulic efficiency (note 3)	$\eta_h = \frac{P_m}{P_h}$	$\eta_h = \frac{P_h}{P_m}$
Efficiency	$\eta = \frac{P}{P_h}$	$\eta = \frac{P_h}{P}$

NOTES

- 1) The formulae ignore the compressibility of the water.
- 2) For detailed analysis of internal losses, refer to annex N.
- 3) The disk friction losses and leakage losses (volumetric losses) are considered as hydraulic losses in this formula. These "disk friction losses" are the friction losses of the outer surfaces of the runner/impeller not in contact with the flow Q_m passing the runner/impeller blades.

Figure 6 – Flux diagram for power and discharge

1.3.3.9 Termes relatifs au rendement

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
1.3.3.9.1	Rendement hydraulique ¹⁾	a) Pour une turbine: rapport de la puissance mécanique à la roue à la puissance hydraulique $\eta_h = \frac{P_m}{P_h}$ b) Pour une pompe: rapport de la puissance hydraulique à la puissance mécanique à la roue $\eta_h = \frac{P_h}{P_m}$ Voir figure 6	η_h	-
1.3.3.9.2	Rendement mécanique	a) Pour une turbine $\eta_m = \frac{P}{P_m}$ b) Pour une pompe $\eta_m = \frac{P_m}{P}$	η_m	-
1.3.3.9.3	Rendement	a) Pour une turbine $\eta = \frac{P}{P_h} = \eta_h \eta_m$ b) Pour une pompe $\eta = \frac{P_h}{P} = \eta_h \eta_m$	η	-
1.3.3.9.4	Rendement moyen pondéré	Calculé selon la formule $\eta_w = \frac{w_1 \eta_1 + w_2 \eta_2 + w_3 \eta_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$ où $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$ sont les valeurs du rendement dans les conditions de fonctionnement spécifiées et où $w_1, w_2, w_3 \dots$ sont les coefficients de pondération respectifs convenus	η_w	-
1.3.3.9.5	Rendement moyen arithmétique	Rendement moyen pondéré (voir 1.3.3.9.4) avec $w_1 = w_2 = w_3 \dots$	η_a	-
¹⁾ Les pertes par frottement de disque et les pertes volumétriques (débits de fuite) sont considérées ici comme des pertes hydrauliques. On appelle «pertes par frottement de disque» les pertes par frottement le long des surfaces extérieures de la roue qui ne sont pas en contact avec l'écoulement principal.				