

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
995**

Première édition
First edition
1991-08

**Détermination des performances industrielles
des machines hydrauliques à partir des essais
sur modèle en considérant les effets d'échelle**

**Determination of the prototype performance
from model acceptance tests
of hydraulic machines with consideration
of scale effects**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 995: 1991

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
995**

Première édition
First edition
1991-08

**Détermination des performances industrielles
des machines hydrauliques à partir des essais
sur modèle en considérant les effets d'échelle**

**Determination of the prototype performance
from model acceptance tests
of hydraulic machines with consideration
of scale effects**

© IEC 1991 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 photocopie 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 Varembeé 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

V

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Introduction	6
1.1 Remarques générales	6
1.2 Fondements et hypothèses	6
2. Objet et domaine d'application	8
SECTION DEUX – TERMES, SYMBOLES ET DÉFINITIONS	
3. Généralités	10
4. Terminologie	10
SECTION TROIS – FORMULE D'EFFET D'ÉCHELLE, PROCÉDURE D'UTILISATION ET COEFFICIENTS DE RÉPARTITION DES PERTES	
5. Formule générale de l'effet d'échelle	22
6. Mise en œuvre	22
6.1 Généralités	22
6.2 Détermination des valeurs de base du modèle: $\eta_{h \text{ opt M}}$, $Re_{u \text{ opt M}}$ et δ_{ref}	24
6.3 Détermination de $\Delta\eta_n$	30
6.4 Utilisation de la formule générale dans des conditions d'essai particulières	34
7. Valeur des coefficients de répartition des pertes V_{ref}	36
SECTION QUATRE – CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT DU PROTOTYPE	
8. Calcul des caractéristiques de fonctionnement du prototype	38
8.1 Formules de transposition	38
ANNEXE A – Commentaires additionnels	44
A1 Explications	44
A2 Etablissement de la formule générale d'effet d'échelle	48
A3 Rapport avec les publications antérieures 193 et 497 de la CEI	50
ANNEXE B – Constantes physiques	54
B1 Accélération due à la pesanteur terrestre	54
B2 Masse volumique de l'eau	56
B3 Viscosité cinématique de l'eau	62
ANNEXE C – Références	64

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION ONE – GENERAL	
Clause	
1. Introduction	7
1.1 General remarks	7
1.2 Basic statements and assumptions	7
2. Object and scope	9
SECTION TWO – TERMS, SYMBOLS AND DEFINITIONS	
3. General	11
4. List of terms	11
SECTION THREE – SCALE FORMULA, PROCEDURE FOR ITS APPLICATION AND LOSS DISTRIBUTION COEFFICIENTS	
5. General scale formula	23
6. Procedure of application	23
6.1 General	23
6.2 Determination of the basic model data: $\eta_{h\text{ opt M}}$, $Re_{u\text{ opt M}}$ and δ_{ref}	25
6.3 Determination of $\Delta\eta_{\text{th}}$	31
6.4 Application of the general formula for special testing conditions	35
7. Values for loss distribution coefficients V_{ref}	37
SECTION FOUR – PROTOTYPE PERFORMANCE	
8. Calculation of prototype performance	39
8.1 Conversion formulae	39
APPENDIX A – Additional comments	45
A1 Explanations	45
A2 Derivation of the general scale formula	49
A3 Relation to the existing IEC Publications 193 and 497	51
APPENDIX B – Physical data	55
B1 Acceleration due to gravity	55
B2 Density of water	57
B3 Kinematic viscosity of water	63
APPENDIX C – References	65

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**DÉTERMINATION DES PERFORMANCES INDUSTRIELLES
DES MACHINES HYDRAULIQUES À PARTIR DES ESSAIS
SUR MODÈLE EN CONSIDÉRANT LES EFFETS D'ÉCHELLE**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente norme a été établie par le Comité d'Etudes n° 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
4(BC)47	4(BC)53

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 publications suivantes de la CEI (en révision) sont citées dans la présente norme:

- Publications n^{os} 193 (1965): Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques.
Modification n° 1 (1977).
193 A (1972): Premier complément.
497 (1976): Code international concernant les essais de réception sur modèle réduit des pompes d'accumulation.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**DETERMINATION OF THE PROTOTYPE PERFORMANCE
FROM MODEL ACCEPTANCE TESTS OF HYDRAULIC MACHINES
WITH CONSIDERATION OF SCALE EFFECTS**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 4: Hydraulic turbines.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
4(CO)47	4(CO)53

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

The following IEC publications (under revision) are quoted in this standard:

- Publications Nos. 193 (1965): International code for model acceptance tests of hydraulic turbines.
Amendment No. 1 (1977).
193 A (1972): First supplement.
497 (1976): International code for model acceptance tests of storage pumps.

DÉTERMINATION DES PERFORMANCES INDUSTRIELLES DES MACHINES HYDRAULIQUES À PARTIR DES ESSAIS SUR MODÈLE EN CONSIDÉRANT LES EFFETS D'ÉCHELLE

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

1. Introduction

1.1 Remarques générales

L'évolution technologique des turbomachines hydrauliques équipant les centrales hydro-électriques impose la révision des codes existants. La meilleure connaissance des effets d'échelle provient des travaux des instituts de recherche, des constructeurs et d'un groupe de travail «Effets d'échelle affectant le fonctionnement et le rendement» de l'Association Internationale de Recherches Hydrauliques (AIRH).

Les effets d'échelle dépendent principalement du nombre de Reynolds mais également de nombreux facteurs partiellement inconnus si bien qu'un calcul rigoureux est difficile (voir annexe C et note 2 de l'article 7) voire même actuellement impossible.

La méthode de calcul du rendement des prototypes, donnée dans la présente norme, repose sur des recherches expérimentales et théoriques dans le domaine de l'analyse d'écoulement; mais elle a été simplifiée pour des raisons de commodité et peut être considérée comme une convention.

La méthode est déduite de l'état actuel des connaissances sur la transposition du rendement entre un modèle et un prototype homologue.

La mise en œuvre de la méthode conduit, sans ambiguïté, à des résultats cohérents.

1.2 Fondements et hypothèses

La transposition du rendement hydraulique est basée sur la variation des pertes par frottement hydrodynamique avec le nombre de Reynolds Re . C'est pourquoi les formules de transposition du rendement dépendant seulement du rapport des diamètres sont éliminées. L'exposant du rapport Re_{uM}/Re_{uP} a été choisi égal à 0,16.

Le rapport des pertes relatives transposables aux pertes relatives totales (coefficient de répartition des pertes V) est rapporté à un nombre de Reynolds de référence et a été convenu pour les différents types de machines (voir tableau I de l'article 7).

Les coefficients V (voir paragraphe 4.19 et article 7) sont déduits:

- a) d'essais sur modèles en écoulement hydrauliquement lisse, à nombres de Reynolds variés,
- b) de la comparaison des mesures du rendement de machines industrielles ayant des états de surface en accord avec la modification n° 1 à la Publication 193 de la CEI et avec la Publication 497 de la CEI, avec les essais de modèles homologues. La rugosité des surfaces prescrite dans ces publications ne conduit pas nécessairement à des conditions adéquates pour un écoulement hydrauliquement lisse (voir références [1] à [5])^{*)}.

^{*)} Les chiffres entre crochets se rapportent aux références indiquées dans l'annexe C.

DETERMINATION OF THE PROTOTYPE PERFORMANCE FROM MODEL ACCEPTANCE TESTS OF HYDRAULIC MACHINES WITH CONSIDERATION OF SCALE EFFECTS

SECTION ONE – GENERAL

1. Introduction

1.1 General remarks

Advances in the technology of hydraulic turbomachines used for hydroelectric power plants indicate the necessity of revising existing codes. The advance in knowledge of scale effects originates from work done by research institutions, manufacturers and a Working Group “Scale effect on performance and efficiency” of the International Association of Hydraulic Research (IAHR).

Scale effects are influenced mainly by Reynolds number but also by other factors partly unknown and therefore rigorous calculation is complicated (see Appendix C and note 2 to Clause 7) or even not yet possible.

The method of calculating prototype efficiencies, as given in this standard, is supported by experimental and theoretical research on flow analysis and has been simplified for practical reasons and agreed as a convention.

The method is based on the present state of knowledge of the scale-up in efficiency from model to homologous prototype.

The application of the method leads to consistent results without ambiguity.

1.2 Basic statements and assumptions

The scale-up of the hydraulic efficiency is based on the dependence of friction losses on Reynolds number Re . Efficiency scale-up formulae based on the ratio of diameter only are therefore eliminated. The exponent of the ratio Re_{uM}/Re_{uP} has been chosen as 0,16.

The ratio of relative scalable losses to total relative losses (loss distribution coefficient V) is referred to a reference Reynolds number and has been agreed on for the different types of machines (see Table I in Clause 7).

The V -coefficients (see Sub-Clause 4.19 and Clause 7) are derived:

- a) from tests at different Reynolds numbers on models with hydraulically smooth surfaces,
- b) from comparison of efficiency tests on prototypes having a surface roughness according to Amendment No.1 to IEC Publication 193 and to Publication 497 with tests on homologous models. The surface roughness as required by these Publications does not necessarily yield hydraulically smooth flow conditions (see References [1] to [5])^{*)}.

^{*)} The figures in square brackets refer to the references given in Appendix C.

Les considérations théoriques de base supposent des surfaces hydrauliquement lisses. Des formules incluant une correction de rugosité ne sont pas utilisées^{*)}.

Pour obtenir des résultats sans ambiguïté, il est convenu par convention, pour des raisons contractuelles, d'éliminer toute incertitude sur les valeurs retenues du coefficient V .

L'augmentation de rendement doit être calculée au point de meilleur rendement du modèle et la valeur ainsi déterminée doit être appliquée à tout le domaine de garantie des rendements.

Le rendement hydraulique au point optimal utilisé pour le calcul de l'augmentation de rendement, ne doit pas être influencé par la cavitation.

La transposition du rendement hydraulique est indépendante des jeux aux labyrinthes aussi longtemps que ceux-ci restent dans les limites précisées dans la Publication 193 de la CEI et sa Modification n° 1 et la Publication 497 de la CEI.

Les déplacements de débit en fonction de l'énergie hydraulique massique entre modèle et prototype ne sont pas considérés.

Les pertes mécaniques doivent être évaluées séparément, conformément à la figure 3.

La formule de transposition ne s'applique pas aux turbines à action (Pelton), voir la note 2 du tableau I de l'article 7.

Pour d'autres explications, voir l'article A1 de l'annexe A.

2. Objet et domaine d'application

La présente norme complète les Publications 193 (et sa modification n° 1), 193A et 497 de la CEI qui traitent des essais sur modèles homologues des turbomachines hydrauliques reprises dans le tableau I de l'article 7 et du calcul des performances du prototype, débit, énergie hydraulique massique (chute), puissance et rendement, à partir des résultats du modèle.

Note. – Pour la définition de l'énergie massique hydraulique et de la chute voir les paragraphes 4.12 et 4.13.

Comme la méthode et le procédé de calcul de la variation du rendement hydraulique sont modifiés par la présente norme, les chapitres suivants des Publications 193 et 497 de la CEI sont à remplacer:

Dans la Publication 193 de la CEI:

- paragraphe 2.2.2 du chapitre III
- paragraphe 1.1 et article 6 du chapitre VI.

Dans la Publication 497 de la CEI:

- paragraphe 11.3 du chapitre III
- article 25 du chapitre VI
- paragraphe 25.1 du chapitre VI
- article 30 du chapitre VI.

De plus, les tableaux B1, B2 et B3 de l'annexe B remplacent les tableaux I et II de la Publication 193 de la CEI et les tableaux IA, II et IV de la Publication 497 de la CEI.

Tous les autres chapitres des Publications 193 (et sa modification n° 1), 193A et 497 de la CEI sont inchangés et demeurent valables, à part quelques modifications sur termes, symboles et unités, voir Section Deux de cette publication.

^{*)} Bien que diverses méthodes de prise en compte de l'influence de l'état de surface (rugosité) sur la transposition de rendement aient été publiées (voir références [1] à [5]), il n'est pas possible dans l'état actuel des choses de retenir une telle méthode ou formulation.

The applied theory is based on hydraulically smooth surfaces. Formulae including roughness corrections are not applied*).

In order to get results without ambiguity it is for contractual purposes conventionally agreed to omit the uncertainty regarding the defined V -values.

The efficiency increase shall be calculated for the optimum point of model efficiencies and shall be applied within the whole range of guaranteed efficiencies.

The hydraulic efficiency at the optimum point used for calculation of efficiency increase shall not be affected by cavitation phenomena.

As long as the geometric similarity of labyrinth seal clearances is within the limits specified in IEC Publication 497 and in Amendment No.1 to IEC Publication 193, the scale-up of the hydraulic efficiency is not influenced by clearance effects.

Shifting effects on discharge versus specific hydraulic energy between model and prototype are not taken into account.

The mechanical power losses have to be considered separately, see Figure 3.

The scale-up formula is not applicable to impulse turbines (Pelton), see note 2 to Table I in Clause 7.

For further explanations see Clause A1 of Appendix A.

2. Object and scope

This standard supplements IEC Publications 193 (and its Amendment No. 1), 193 A and 497, which are concerned with testing homologous models of hydraulic turbomachines as listed in Table I of Clause 7 and with the use of model results for predicting prototype performance i.e. discharge, specific hydraulic energy (head), power and efficiency.

Note. – For definitions of specific hydraulic energy and head see Sub-clauses 4.12 and 4.13.

Since the method and the procedure for calculating the increase of hydraulic efficiency have been modified in this standard, the contents of the following chapters in IEC Publications 193 and 497 are to be replaced:

In IEC Publication 193:

- Sub-clause 2.2.2 of Chapter III
- Sub-clause 1.1 and Clause 6 of Chapter VI.

In IEC Publication 497:

- Sub-clause 11.3 of Chapter III
- Clause 25 of Chapter VI
- Sub-clause 25.1 of Chapter VI
- Clause 30 of Chapter VI.

Furthermore, Tables B1, B2 and B3 in Appendix B replace Tables I and II in IEC Publication 193 and Tables IA, II and IV in IEC Publication 497.

All other chapters in IEC Publications 193 (and its Amendment No.1), 193 A, and 497 remain unchanged and are still valid, except some modifications on terms, symbols and units, see Section Two of this publication.

*¹) Although various procedures on how to consider the influence of surface roughness on efficiency scaling have been published (see References [1] to [5]), it is presently not possible to agree on such a formula or procedure.

SECTION DEUX – TERMES, SYMBOLES ET DÉFINITIONS

3. Généralités

Le Système international d'unités (SI) est utilisé dans cette norme*). Tous les termes sont exprimés en unités SI fondamentales ou en unités dérivées cohérentes (par exemple N au lieu de $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$). La validité des équations n'est assurée qu'avec ces unités.

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

4. Terminologie

Les termes, définitions, symboles, unités et indices correspondent à ceux qui figurent (plus en détail) dans la Publication 41 de la CEI relative aux essais de réception sur place.

INDICES

Termes	Symboles
prototype	P
modèle	M
valeur rapportée à un nombre de Reynolds constant	M^*
section de référence côté haute pression (voir paragraphe 4.6)	1
section de référence côté basse pression (voir paragraphe 4.7)	2
hydraulique	h
mécanique	m
référence	ref
optimal (rendement maximal)	opt
non transposable (indépendante de Re_n)	ns

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 (voir figure 2).

*) Dans la Publication 193 de la CEI, le système $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ est utilisé.

Dans la Publication 497 de la CEI, le système SI est principalement utilisé.

SECTION TWO – TERMS, SYMBOLS AND DEFINITIONS

3. General

The International System of Units (SI) has been used throughout this standard*). All terms are given in SI Base Units or derived coherent units (for example N instead of $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$). The equations are only valid using these units.

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

4. List of terms

The terms, definitions, symbols, units and subscripts correspond to those listed (in more details) in IEC Publication 41 on field acceptance tests.

SUBSCRIPTS	
Term	Symbol
prototype	P
model	M
value referred to a constant Reynolds number	M*
high pressure reference section (see Sub-clause 4.6)	1
low pressure reference section (see Sub-clause 4.7)	2
hydraulic	h
mechanical	m
reference	ref
optimum (best efficiency point)	opt
non-scalable (independent of Re_u)	ns

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 (see Figure 2).

*) In IEC Publication 193, the $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}$ system is used.

In IEC Publication 497, the SI system is principally applied.

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
4.1	Accélération due à la pesanteur	Valeur locale de g en fonction de l'altitude et de la latitude (voir tableau B 1 de l'annexe B).	g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
4.2	Masse volumique	Masse par unité de volume. La masse volumique de l'eau en fonction de la pression et de la température est donnée au tableau B 2 de l'annexe B. Cette norme utilise ρ au lieu de ρ_w .	ρ ρ_w	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
4.3	Viscosité cinématique	Quotient de la viscosité dynamique par la masse volumique. La viscosité cinématique de l'eau en fonction de la température (voir tableau B 3 de l'annexe B).	ν	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
4.4	Diamètre de référence	Diamètre de référence de la machine hydraulique (voir figure 1).	D	m
4.5	Pression absolue	Pression statique de l'eau mesurée par rapport au vide absolu.	p_{abs}	Pa
4.6	Section de référence haute pression	Section côté haute pression de la machine par rapport à laquelle les performances garanties sont définies (voir figure 2).	1	
4.7	Section de référence basse pression	Section côté basse pression de la machine par rapport à laquelle les performances garanties sont définies (voir figure 2).	2	
4.8	Débit (Débit-volume)	Volume d'eau s'écoulant à travers une section quelconque du système pendant l'unité de temps.	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
4.9	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.	$(\rho \cdot Q)$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
4.10	Vitesse moyenne	Rapport du débit-volume à l'aire de la section de passage.	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
4.11	Niveau	Cote d'un point du système au-dessus d'une altitude de référence (habituellement le niveau moyen de la mer).	z	m

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
4.1	Acceleration due to gravity	Local value of g as a function of altitude and latitude (see Appendix B, Table B1).	g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
4.2	Density	Mass per unit volume. Values for water as a function of pressure and temperature (see Appendix B, Table B2). In this standard ρ is used instead of ρ_w .	ρ ρ_w	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
4.3	Kinematic viscosity	Dynamic viscosity of the fluid divided by its density. Values for water as a function of temperature (see Appendix B, Table B3).	ν	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
4.4	Reference diameter	Reference diameter of the hydraulic machine (see Figure 1).	D	m
4.5	Absolute pressure	The static pressure of the water measured with reference to a perfect vacuum.	p_{abs}	Pa
4.6	High pressure reference section	The high pressure section of the machine to which the performance guarantees refer (see Figure 2).	1	
4.7	Low pressure reference section	The low pressure section of the machine to which the performance guarantees refer (see Figure 2).	2	
4.8	Discharge (Volume flow rate)	Volume of water per unit time flowing through any section in the system.	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
4.9	Mass flow rate	Mass of water flowing through any section of the system per unit time. Both ρ and Q must 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.	$(\rho \cdot Q)$	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
4.10	Mean velocity	Discharge divided by the area.	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
4.11	Level	Elevation of a point in the system above the specified reference datum (usually mean sea level).	z	m

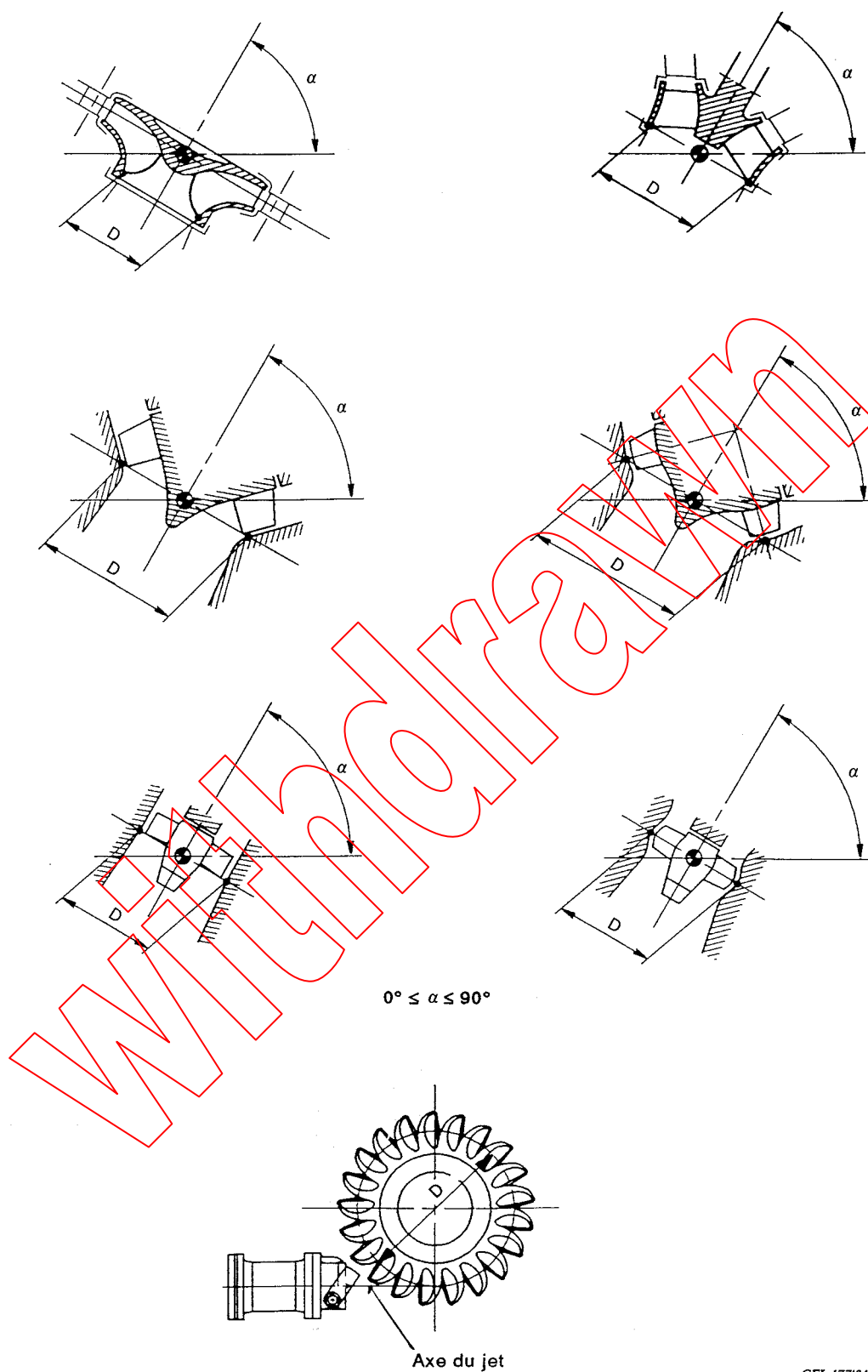


FIG. 1. – Diamètre de référence D.

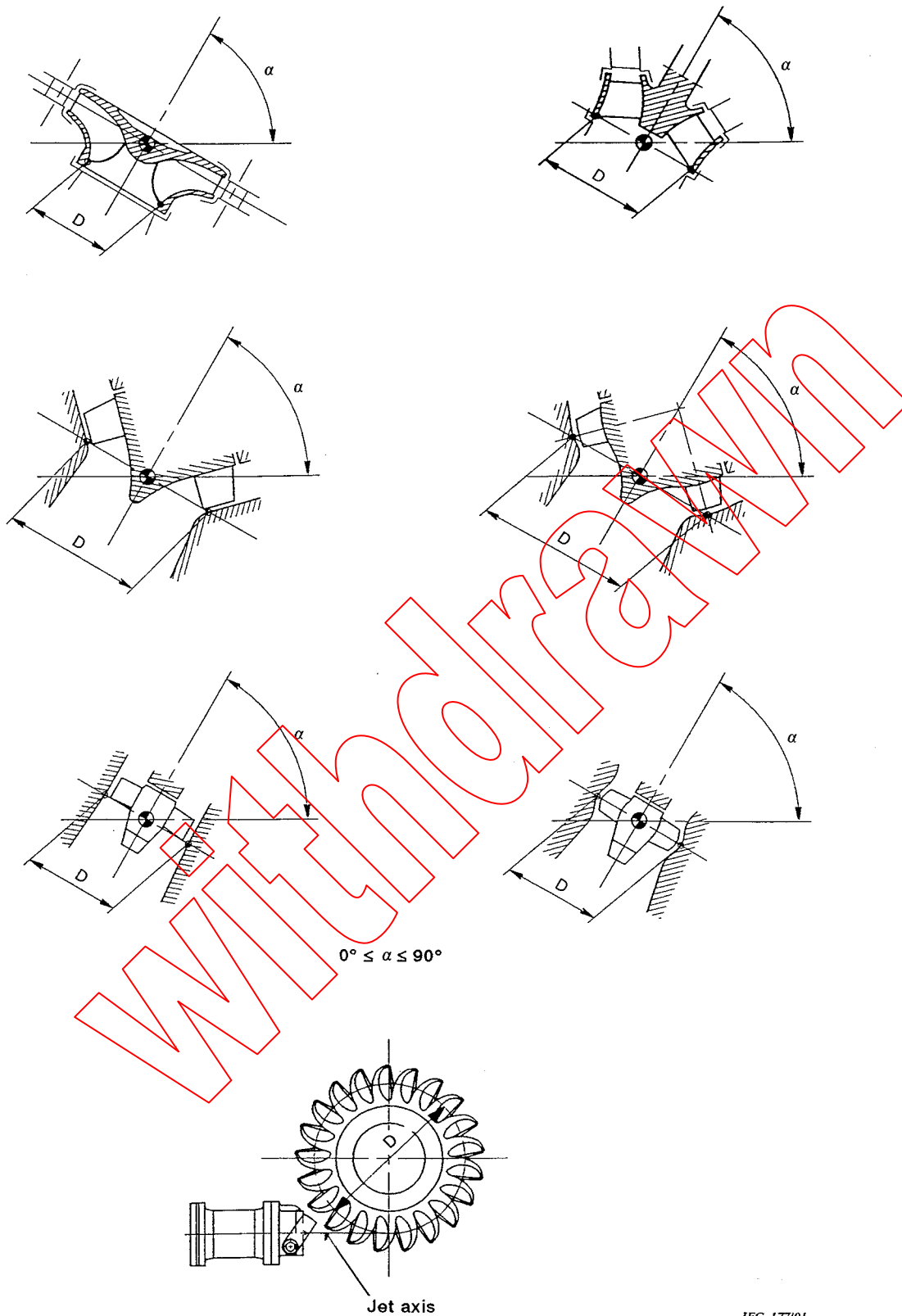


FIG. 1. - Reference diameter D.

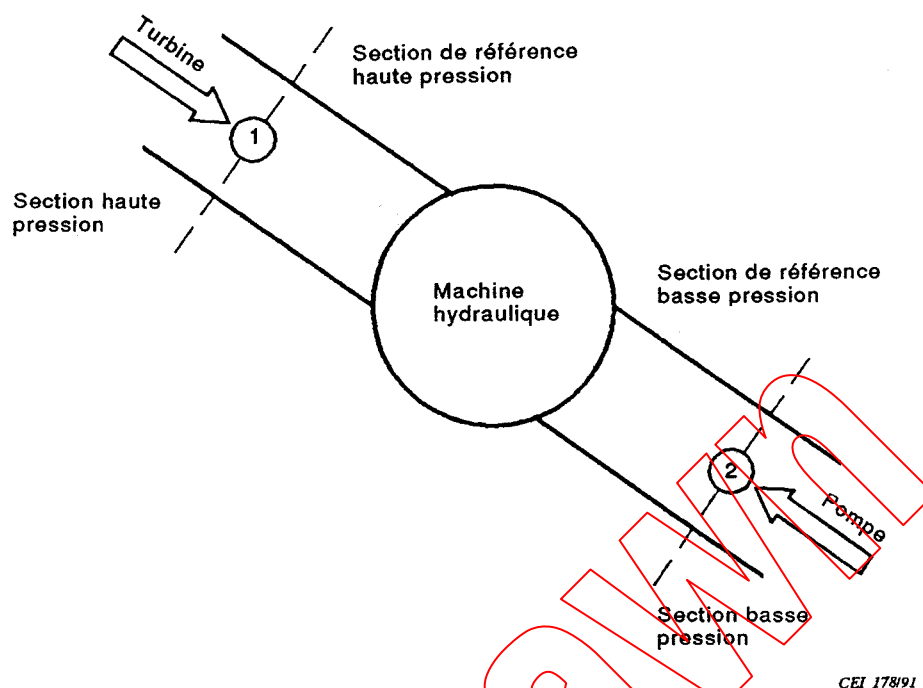


FIG. 2. - Représentation schématique d'une machine hydraulique.

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
4.12	Energie hydraulique massique de la machine	Energie massique de l'eau, disponible entre les sections de référence haute et basse pression 1 et 2 de la machine, l'influence de la compressibilité étant prise en compte. $E = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2) \cdot g$ où $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ et supposant $g = g_1 = g_2$	E	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ $= \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
4.13	Hauteur de chute nette de la turbine ou hauteur nette de refoulement de la pompe	$H = \frac{E}{g}$	H	m

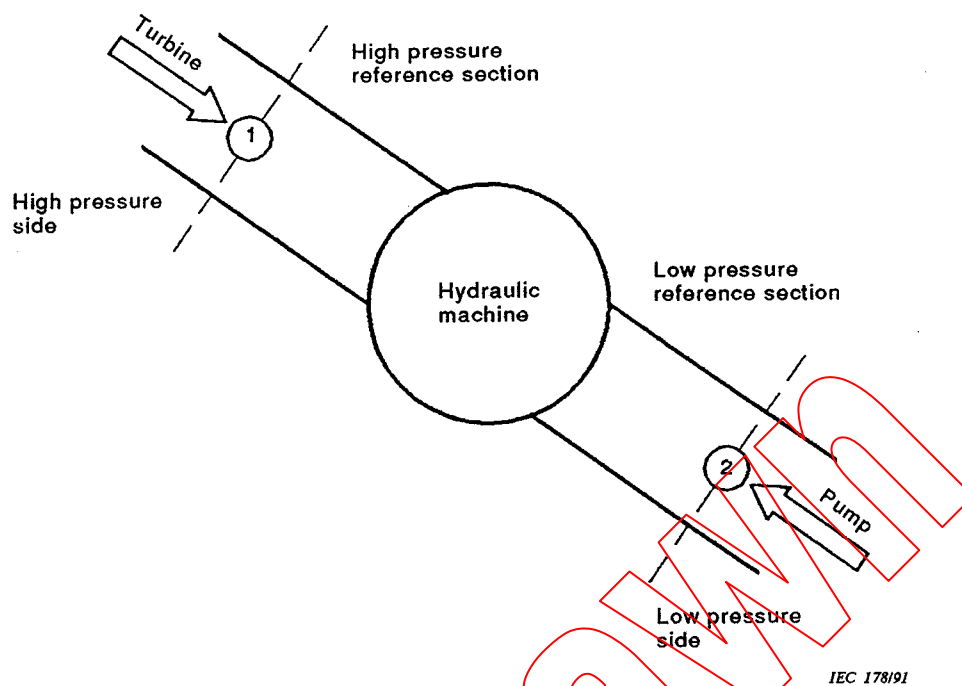
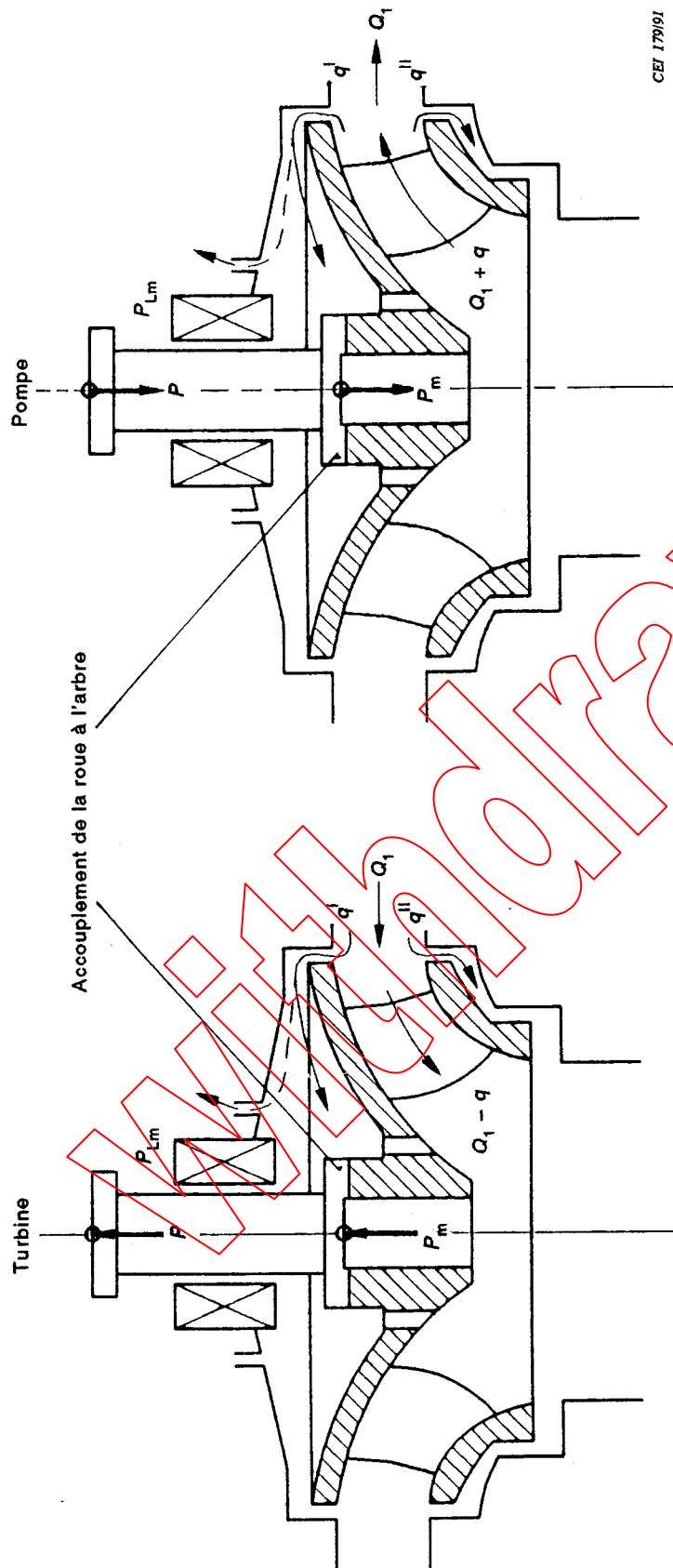


FIG. 2. – Schematic representation of a hydraulic machine.

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
4.12	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. $E = \frac{p_{abs1} - p_{abs2}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + (z_1 - z_2) \cdot g$ where $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ and assuming $g = g_1 = g_2$	E	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ $= \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$
4.13	Turbine or pump head	$H = \frac{E}{g}$	H	m



CEI 179/91

Q_1 : Débit passant dans la section de référence haute pression 1.

q', q'' : Pertes par débits de fuite, q' est un débit de fuite interne ou externe selon la construction.

P_{Lm} : Puissance mécanique dissipée dans les paliers, le pivot et les joints de l'arbre qui doit être évaluée séparément.

P_m : Puissance mécanique de la roue.

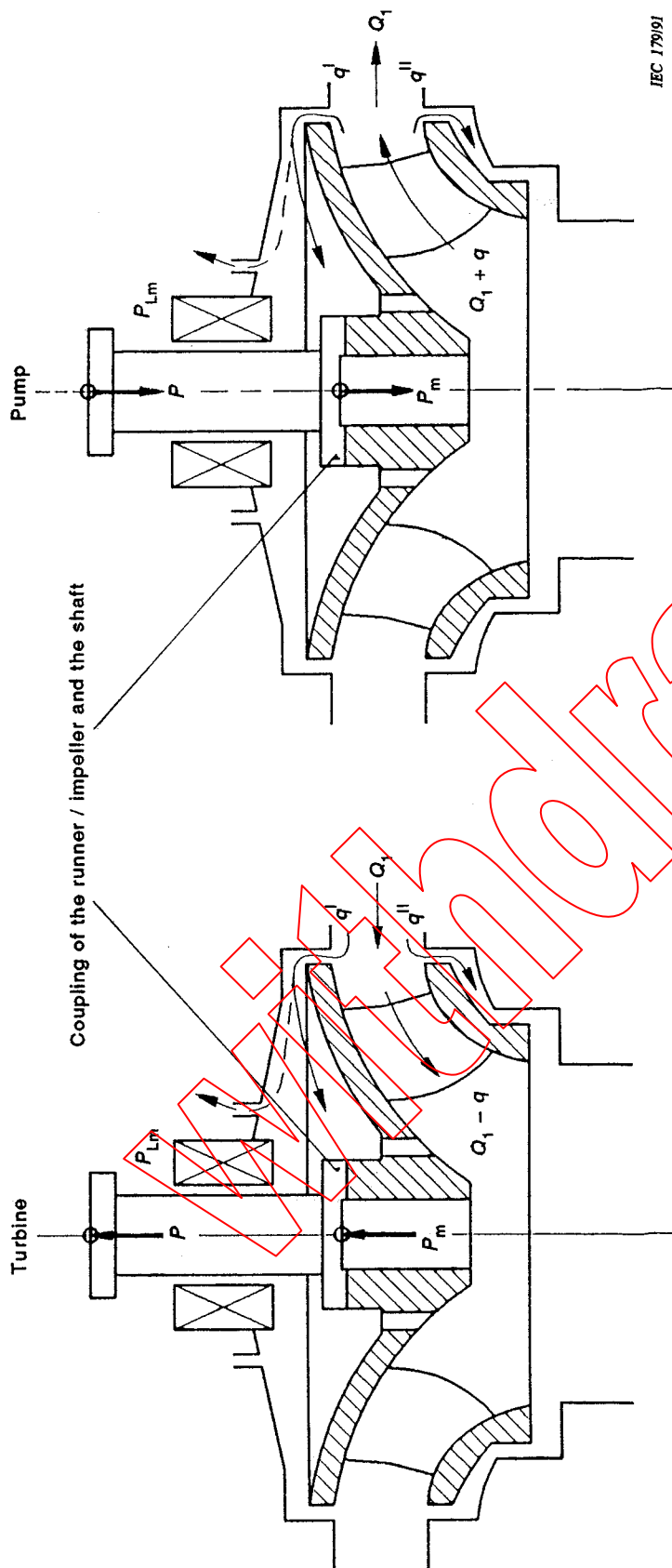
η_h : Rendement hydraulique.

η_{mP} : Rendement mécanique d'un prototype.

η_P : Rendement habituellement garanti pour un prototype.

Turbine $P_m = P + P_{Lm}$ $\eta_h = \frac{P_m}{(\rho \cdot Q_1) \cdot E}$ $\eta_{mP} = \frac{P_p}{P_{mP}}$ $\eta_P = \eta_{hP} \cdot \eta_{mP}$	Pompe $P_m = P - P_{Lm}$ $\eta_h = \frac{(\rho \cdot Q_1) \cdot E}{P_m}$ $\eta_{mP} = \frac{P_{mP}}{P_p}$ $\eta_P = \eta_{hP} \cdot \eta_{mP}$
--	--

Fig. 3



Q_1 : Discharge Q flowing through the high pressure reference section 1.

q', q'' : Leakage flowrate, q' being an internal or external leakage flowrate depending on the design.

P_{Lm} : Mechanical power losses dissipated in guide bearings, thrust bearing and shaft seals to be taken into account separately.

P_m : Mechanical power of the runner/impeller.

η_h : Hydraulic efficiency.

η_{mP} : Mechanical prototype efficiency.

η_P : Efficiency normally guaranteed for a prototype.

Turbine

$$P_m = P + P_{Lm}$$
$$\eta_h = \frac{P_m}{(Q \cdot Q_1) \cdot E}$$
$$\eta_{mP} = \frac{P_p}{P_{mP}}$$
$$\eta_P = \eta_{hP} \cdot \eta_{mP}$$

Pump

$$P_m = P - P_{Lm}$$
$$\eta_h = \frac{(Q \cdot Q_1) \cdot E}{P_m}$$
$$\eta_{mP} = \frac{P_{mP}}{P_p}$$
$$\eta_P = \eta_{hP} \cdot \eta_{mP}$$

FIG. 3