

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
41**

Troisième édition
Third edition
1991-11

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

**Field acceptance tests to determine the
hydraulic performance of hydraulic turbines,
storage pumps and pump-turbines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 41: 1991

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 auprès du Bureau Central de la CEI.

Les renseignements relatifs à ces révisions, à l'établissement des éditions révisées et aux amendements peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et dans les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
- **Annuaire de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement

Terminologie

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 50: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI), qui se présente sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini. Des détails complets sur le VEI peuvent être obtenus sur demande. Voir également le dictionnaire multilingue de la CEI.

Les termes et définitions figurant dans la présente publication ont été soit tirés du VEI, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Symboles graphiques et littéraux

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera:

- la CEI 27: *Symboles littéraux à utiliser en électro-technique;*
- la CEI 417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles;*
- la CEI 617: *Symboles graphiques pour schémas;*

et pour les appareils électromédicaux,

- la CEI 878: *Symboles graphiques pour équipements électriques en pratique médicale.*

Les symboles et signes contenus dans la présente publication ont été soit tirés de la CEI 27, de la CEI 417, de la CEI 617 et/ou de la CEI 878, soit spécifiquement approuvés aux fins de cette publication.

Publications de la CEI établies par le même comité d'études

L'attention du lecteur est attirée sur les listes figurant à la fin de cette publication, qui énumèrent les publications de la CEI préparées par le comité d'études qui a établi la présente publication.

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 from the IEC Central Office.

Information on the revision work, the issue of revised editions and amendments may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
- **IEC Yearbook**
Published yearly
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates

Terminology

For general terminology, readers are referred to IEC 50: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field. Full details of the IEV will be supplied on request. See also the IEC Multilingual Dictionary.

The terms and definitions contained in the present publication have either been taken from the IEV or have been specifically approved for the purpose of this publication.

Graphical and letter symbols

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications:

- IEC 27: *Letter symbols to be used in electrical technology;*
- IEC 417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets;*
- IEC 617: *Graphical symbols for diagrams;*

and for medical electrical equipment,

- IEC 878: *Graphical symbols for electromedical equipment in medical practice.*

The symbols and signs contained in the present publication have either been taken from IEC 27, IEC 417, IEC 617 and/or IEC 878, or have been specifically approved for the purpose of this publication.

IEC publications prepared by the same technical committee

The attention of readers is drawn to the end pages of this publication which list the IEC publications issued by the technical committee which has prepared the present publication.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
41**

Troisième édition
Third edition
1991-11

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

**Field acceptance tests to determine the
hydraulic performance of hydraulic turbines,
storage pumps and pump-turbines**

© CEI 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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembe Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE **XK**

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

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

**Field acceptance tests to determine
the hydraulic performance of
hydraulic turbines, storage pumps and
pump-turbines**

CORRIGENDUM 1

Correction dans le texte anglais uniquement

Page 3

CONTENTS

In the title of subclause 4.1, instead of

... provision for the test ...

read

... provision for test ...

Page 13

Correction dans le texte anglais uniquement

*In clause 1, Scope and object, change the
numeration in order to obtain (as on page 12):*

1 Scope and object

1.1 Scope

1.1.1 This International Standard ...

1.1.2 Model tests, when used ...

1.1.3 Tests of speed ...

1.2 Object

1.3 Types of machines

Page 16

*Dans le tableau, au paragraphe 2.3.1.7 (Limites),
remplacer les signes représentatifs existants par
les nouveaux signes suivants:*

... ne pas dépasser 
... atteindre  ou 

Page 17

*In the table, subclause 2.3.1.7 (Limits), replace the
existing symbols by the following new symbols:*

... not to be exceeded 
... to be reached  or 

In the table, subclause 2.3.6.4, third column, in the sixth line, instead of

$$\dots \text{ and } \bar{g} = -\frac{g_3 + g_4}{2}$$

read

$$\dots \text{ and } \bar{g} = \frac{g_3 + g_4}{2}$$

Dans le tableau, au paragraphe 2.3.6.5, sous «Terme» (deuxième colonne), au lieu de

.... pompe d bit

lire

.... pompe d bit nul

Correction in the French text only.

Dans la partie supérieure du schéma, placer les deux équations existantes afin de les situer ensemble à droite, au-dessus du schéma décrivant un «Groupe axe horizontal», comme suit:

$$\begin{aligned} Z_1 &= z_1' - z_1 \\ Z_2 &= z_2' - z_2 \end{aligned}$$

In the upper part of the diagram, rearrange the two existing equations so as to place them together, on the right-hand side, above the diagram describing a "Horizontal shaft unit" as follows:

$$\begin{aligned} Z_1 &= z_1' - z_1 \\ Z_2 &= z_2' - z_2 \end{aligned}$$

Dans la bordure de droite du schéma, à la hauteur de la pointe de flèche, ajouter l'équation suivante:

$$z_1 = z_2$$

Add, at the right-hand side of the diagram, level with the arrowhead, the following equation:

$$z_1 = z_2$$

Page 84, figure 14

Correction in the French text only

Dans le schéma, au lieu de «constant», lire partout «constante».

Page 86

Correction in the French text only

6.2.3.2 Erreurs aléatoires

Dans l'avant-dernière ligne de la page, au lieu de

. . . dépend de la combinaison des lectures et de la combinaison de l'erreur aléatoire . . .

lire

. . . dépend de la combinaison de l'erreur aléatoire . . .

Page 128

10.2.3.2 Prescriptions complémentaires

Au cinquième alinéa, au lieu de

Annexes F et G de l'ISO 3354:

lire

Annexes H et J de l'ISO 3354:

Correction dans le texte anglais uniquement

Page 129

10.2.3.2 Additional requirements

In the fifth paragraph, instead of

Annexes F and G of ISO 3354:

read

Annexes H and J of ISO 3354:

Page 141

10.2.5.6 Computation of discharge

In the eighth line of text, instead of

m is the coefficient . . .

read

m is a coefficient . . .

Correction dans le texte anglais uniquement

Page 195, figure 34b

In the legends below the diagram, on the right-hand side; in the first line, instead of

. . . (geodesic . . .

read

. . . (geodetic . . .

third line, instead of

$$z_B' = z_B' - z_B \dots$$

read

$$Z_B' = z_B' - z_B \dots$$

Page 204, figure 37

Page 205, figure 37

M me correction qu'en page 34 (voir ci-dessus)

Same correction as on page 35 (see above)

Page 206, figure 38

Page 207, figure 38

M me correction qu'en page 36 (voir ci-dessus)

Same correction as on page 37 (see above)

Page 212

Page 213

Dans l' equation encadr e au haut de la page, apr s le H, ajouter un signe gal (=); au lieu de

In the framed equation at the top of the page, after the H add an equal sign (=); instead of

$$E = \bar{g} \cdot H \frac{(p_{abs_1} - p_{abs_2})}{2} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g} \cdot (z_1 - z_2)$$

lire

read

$$E = \bar{g} \cdot H = \frac{(p_{abs_1} - p_{abs_2})}{2} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g} \cdot (z_1 - z_2)$$

Page 214

Page 215

Dans l' equation situ e juste au-dessous de la figure 41 au lieu de

In the equation following figure 41, instead of

$$NPSE = g_2 \cdot NPSH = \frac{(p_{abs_2} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} + g_2 \cdot (z_r - z_2)$$

lire

read

$$NPSE = g_2 \cdot NPSH = \frac{(p_{abs_2} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot (z_r - z_2)$$

Correction dans le texte anglais uniquement

Page 219, figure 42

In the legends under the diagram, instead of

d = 3 mm 6 mm

read

d = 3 mm to 6 mm

Page 228, figure 45a

Page 229, figure 45a

In the third line of the legends half-way up the diagram, instead of

Δp = differential-pressure

read

Δp = differential pressure

Sous le schéma, dans la formule pour p_M enlever un Δ afin de lire:

Under the diagram, in the formula for p_M , delete one Δ in order to read:

$$p_M = p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 = p + \rho_{oil} \cdot g \cdot (h_2 - h_1) + \rho \cdot g \cdot h_1 + \Delta p$$

Page 256

Page 257

Sous l'équation (4), dans la dernière formule de la page, aligner les indices; au lieu de

Under equation (4), in the last formula on the page, align indices; instead of

$$\cos \varphi_s = \frac{P_{as}(2w)}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s}$$

$$\cos \varphi_s = \frac{P_{as}(2w)}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s}$$

lire

read

$$\cos \varphi_s = \frac{P_{as(2w)}}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s}$$

$$\cos \varphi_s = \frac{P_{as(2w)}}{\sqrt{3} \cdot U_s \cdot I_s}$$

Page 280

Correction in the French text only

Dans la légende de la figure 58, au lieu de

- Dimension du b ti . . .

lire

- Dimensions du b ti . . .

Correction dans le texte anglais uniquement

Page 303

In the penultimate line of the page:

instead of "ou", read "or".

Correction in the French text only

Page 308

14.4.2 Mesures auxiliaires

Dans la première ligne, au lieu de

. . . ± 5 % pr s, . . .

lire

. . . ± 5 % pr s environ, . . .

Page 322

Paragraphe 15.2.1.1, deuxième alinéa, dernière ligne, au lieu de

... n , théoriquement égal ...

lire

... n est théoriquement égal ...

Page 323

Subclause 15.2.1.1, second paragraph, last line, instead of

... n theoretically equal to ...

read

... n is theoretically equal to ...

Page 356

Dans les première et troisième lignes du texte juste au-dessous du tableau C1, au lieu de « $\bar{Y}$ » et « $\bar{Y}_r$ » lire Y_r

Page 357

In the first line and third line of text, just below table C.1, instead of " $\bar{Y}$ " and " $\bar{Y}_r$ " read Y_r

Page 398

Correction in the French text only

Annexe H

Dans le titre, la deuxième ligne, au lieu de

... **DE L' ÉNERGIE MÉCANIQUE**

lire

... **DE L' ÉNERGIE MÉCANIQUE
MASSIQUE**

Mars 1996

March 1996

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	8
PRÉFACE	8

SECTION UN – RÈGLES GÉNÉRALES

Articles

1. Domaine d'application et objet	12
1.1 Domaine d'application	12
1.2 Objet	12
1.3 Types de machines	12
1.4 Référence à des normes CEI et ISO	14
1.5 Sujets exclus	14
2. Terminologie, définitions, symboles et unités	14
2.1 Généralités	14
2.2 Unités	14
2.3 Liste des termes, définitions, symboles et unités	14
3. Nature et étendue des garanties de performances hydrauliques	50
3.1 Généralités	50
3.2 Garanties principales	50
3.3 Autres garanties	54
4. Organisation de l'essai	58
4.1 Dispositions à prévoir pour l'essai	58
4.2 Autorité pour l'essai	58
4.3 Personnel	58
4.4 Préparation de l'essai	58
4.5 Accord sur le programme d'essai	60
4.6 Appareils de mesure	62
4.7 Relevés	62
4.8 Inspection après l'essai	64
4.9 Rapport final	66

SECTION DEUX – EXÉCUTION DE L'ESSAI POUR LA DÉTERMINATION DES PERFORMANCES DE LA MACHINE EN RÉGIME PERMANENT

5. Modalités d'exécution de l'essai et conditions à remplir	70
5.1 Modalités générales d'exécution de l'essai	70
5.2 Conditions à remplir pour l'essai	76
6. Calcul et analyse des résultats	80
6.1 Calcul des résultats d'essai	80
6.2 Incertitudes de mesure et présentation des résultats	86
6.3 Comparaison avec les garanties	92

SECTION TROIS – EXÉCUTION DE L'ESSAI POUR LA DÉTERMINATION DES CARACTÉRISTIQUES DE LA MACHINE EN RÉGIME TRANSITOIRE

7. Modalités d'exécution de l'essai et conditions à remplir	108
7.1 Conditions d'essai	108
7.2 Modalités d'exécution de l'essai et instrumentation	110

CONTENTS

	Page
FOREWORD	9
PREFACE	9

SECTION ONE – GENERAL RULES

Clause

1. Scope and object	13
1.1 Scope	13
1.2 Object	13
1.3 Types of machines	13
1.4 Reference to IEC and ISO standards	15
1.5 Excluded topics	15
2. Terms, definitions, symbols and units	15
2.1 General	15
2.2 Units	15
2.3 List of terms, definitions, symbols and units	15
3. Nature and extent of hydraulic performance guarantees	51
3.1 General	51
3.2 Main guarantees	51
3.3 Other guarantees	55
4. Organisation of test	59
4.1 Adequate provision for the test	59
4.2 Authority for test	59
4.3 Personnel	59
4.4 Preparation for test	59
4.5 Agreement on test procedure	61
4.6 Instruments	63
4.7 Observations	63
4.8 Inspection after test	65
4.9 Final report	67

SECTION TWO – EXECUTION OF TEST FOR THE DETERMINATION
OF THE STEADY STATE PERFORMANCE OF THE MACHINE

5. Test conditions and procedure	71
5.1 General test procedure	71
5.2 Test conditions to be fulfilled	77
6. Computation and analysis of results	81
6.1 Computation of test results	81
6.2 Uncertainties in measurements and presentation of results	87
6.3 Comparison with guarantees	93

SECTION THREE – EXECUTION OF TEST FOR THE DETERMINATION
OF THE TRANSIENT CHARACTERISTIC OF THE MACHINE

7. Test conditions and procedure	109
7.1 Test conditions	109
7.2 Test procedure and instrumentation	111

Articles	Pages
8. Calcul et analyse des résultats	110
8.1 Transposition des résultats	110
8.2 Comparaison avec les garanties	112

SECTION QUATRE – MÉTHODES DE MESURAGE

9. Introduction	114
9.1 Rendement	114
9.2 Puissance hydraulique	114
9.3 Puissance mécanique	118
10. Débit	118
10.1 Généralités	118
10.2 Jaugeage aux moulinets	122
10.3 Tubes de Pitot	144
10.4 Méthode pression-temps	146
10.5 Méthodes par traceur	162
10.6 Déversoirs	166
10.7 Appareils déprimogènes normalisés	178
10.8 Méthode volumétrique	180
11. Energie hydraulique massique de la machine	186
11.1 Généralités	186
11.2 Détermination de l'énergie hydraulique massique	188
11.3 Détermination de l'énergie massique nette d'aspiration	212
11.4 Mesurage de la pression	216
11.5 Mesurage du niveau libre	240
11.6 Incertitude de mesure	250
12. Puissance	252
12.1 Méthode indirecte de mesurage de la puissance	252
12.2 Méthode directe de mesurage de la puissance	282
12.3 Pertes dans les paliers	284
13. Vitesse de rotation	290
13.1 Généralités	290
13.2 Mesurage de la vitesse dans la détermination directe de la puissance	290
13.3 Mesurage de la vitesse dans la détermination indirecte de la puissance	290
13.4 Incertitude de mesure	290
14. Méthode thermodynamique de mesurage du rendement	292
14.1 Généralités	292
14.2 Rendement et énergie mécanique massique	292
14.3 Méthodes de mesurage de l'énergie mécanique massique	294
14.4 Appareillage	304
14.5 Conditions à remplir pour les essais	308
14.6 Corrections	312
14.7 Incertitude de mesure	318

Clause	Page
8. Computation and analysis of results	111
8.1 Conversion of results	111
8.2 Comparison with guarantees	113

SECTION FOUR – METHODS OF MEASUREMENT

9. Introduction	115
9.1 Efficiency	115
9.2 Hydraulic power	115
9.3 Mechanical power	119
10. Discharge	119
10.1 General	119
10.2 Current-meter method	123
10.3 Pitot tubes	145
10.4 Pressure-time method	147
10.5 Tracer methods	163
10.6 Weirs	167
10.7 Standardized differential pressure devices	179
10.8 Volumetric gauging method	181
11. Specific hydraulic energy of the machine	187
11.1 General	187
11.2 Determination of the specific hydraulic energy	189
11.3 Determination of the net positive suction specific energy	213
11.4 Pressure measurements	217
11.5 Free water level measurements	241
11.6 Uncertainty of measurements	251
12. Power	253
12.1 Indirect method of power measurement	253
12.2 Direct method of power measurement	283
12.3 Bearing losses	285
13. Rotational speed	291
13.1 General	291
13.2 Speed measurements in the case of direct measurement of power	291
13.3 Speed measurements in the case of indirect measurement of power	291
13.4 Uncertainty of measurement	291
14. Thermodynamic method for measuring efficiency	293
14.1 General	293
14.2 Efficiency and specific mechanical energy	293
14.3 Procedure for measurement of specific mechanical energy	295
14.4 Apparatus	305
14.5 Test conditions to be fulfilled	309
14.6 Corrective terms	313
14.7 Uncertainty of measurement	319

Articles	Pages
15. Essais indiciels	320
15.1 Généralités	320
15.2 Mesurage relatif du débit	322
15.3 Mesurage des autres grandeurs	330
15.4 Calcul des résultats	330
15.5 Incertitude de mesure	332
ANNEXE A – Incertitudes systématiques sur les mesures de performances en régime permanent	336
ANNEXE B – Elimination des résultats aberrants	352
ANNEXE C – Analyse des incertitudes aléatoires lors d'un essai dans des conditions de fonctionnement constantes	354
ANNEXE D – Analyse des incertitudes aléatoires lors d'un essai couvrant une gamme de conditions de fonctionnement	362
ANNEXE E – Données physiques	368
ANNEXE F – Établissement de l'équation définissant l'énergie hydraulique massique de la machine	390
ANNEXE G – Mesurage de la puissance électrique – Détermination de la correction pour un système de mesure monophasé	394
ANNEXE H – Méthode thermodynamique – Exemples de bilan des puissances et de calcul de l'énergie mécanique massique	398
ANNEXE J – Méthode acoustique de mesurage du débit	404

Clause	Page
15. Index tests	321
15.1 General	321
15.2 Relative discharge measurement	323
15.3 Measurement of other quantities	331
15.4 Computation of results	331
15.5 Uncertainty of measurement	333
APPENDIX A – Systematic uncertainties in performance measurements at steady state conditions . .	337
APPENDIX B – Rejection of outliers	353
APPENDIX C – Analysis of the random uncertainties for a test at constant operating conditions	355
APPENDIX D – Analysis of the random uncertainties for a test over a range of operating conditions .	363
APPENDIX E – Physical data	369
APPENDIX F – Derivation of the equation for the specific hydraulic energy of a machine	391
APPENDIX G – Measurement of electric power – Determination of the correction for a single-phase measuring system	395
APPENDIX H – Thermodynamic method – Examples for a balance of power and computation of the specific mechanical energy	399
APPENDIX J – Acoustic method of discharge measurement	405

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS DE RÉCEPTION SUR PLACE DES TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES, EN VUE DE LA DÉTERMINATION DE LEURS PERFORMANCES HYDRAULIQUES

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 internationale a été établie par le Comité d'Etudes n° 4 de la CEI : Turbines hydrauliques. Elle remplace la deuxième édition de la CEI 41, la première édition de la CEI 198 et la première édition de la CEI 607.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
4 (BC) 48	4 (BC) 52

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 sont citées dans la présente norme:

Publications n°s	34-2	(1972):	Machines électriques tournantes, Deuxième partie: Méthodes pour la détermination des pertes et du rendement des machines électriques tournantes à partir d'essais (à l'exclusion des machines pour véhicules de traction).
	34-2A	(1974):	Premier complément: Mesure des pertes par la méthode calorimétrique.
	185	(1987):	Transformateurs de courant.
	186	(1987):	Transformateurs de tension. Modification n°1 (1988).
	193	(1965):	Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques. Modification n°1 (1977).
	193A	(1972):	Premier complément.
	308	(1970):	Code international d'essai des régulateurs de vitesse pour turbines hydrauliques.
	497	(1976):	Code international concernant les essais de réception sur modèle réduit des pompes d'accumulation.
	545	(1976):	Guide pour la réception, l'exploitation et l'entretien des turbines hydrauliques.
	609	(1978):	Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques.
	805	(1985):	Guide pour la réception, l'exploitation et l'entretien des pompes d'accumulation et des pompes-turbines fonctionnant en pompe.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

FIELD ACCEPTANCE TESTS TO DETERMINE THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES

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 International Standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 4: Hydraulic turbines.
It replaces the second edition of IEC 41, the first edition of IEC 198 and the first edition of IEC 607.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
4 (CO) 48	4 (CO) 52

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 are quoted in this standard:

Publications Nos. 34-2	(1972):	Rotating electrical machines. Part 2: Methods for determining losses and efficiency of rotating electrical machinery from tests (excluding machines for traction vehicles).
34-2A	(1974):	First supplement: Measurement of losses by the calorimetric method.
185	(1987):	Current transformers.
186	(1987):	Voltage transformers. Amendment No.1 (1988).
193	(1965):	International code for model acceptance tests of hydraulic turbines. Amendment No.1 (1977).
193A	(1972):	First supplement.
308	(1970):	International code for testing of speed governing systems for hydraulic turbines.
497	(1976):	International code for model acceptance tests of storage pumps.
545	(1976):	Guide for commissioning, operation and maintenance of hydraulic turbines.
609	(1978):	Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines.
805	(1985):	Guide for commissioning, operation and maintenance of storage pumps and of pump-turbines operating as pumps.

Normes ISO citées:

Publications n ^{os}	31-3	(1978):	Grandeurs et unités de mécanique. Amendement 01 – 1985.
	748	(1979):	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts-Méthodes d'exploration du champ des vitesses.
	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.
	2186	(1973):	Débit des fluides dans les conduites fermées. Liaisons pour la transmission du signal de pression entre les éléments primaires et secondaires.
	2533	(1975):	Atmosphère type. Additif 01 – 1985.
	2537	(1988):	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Moulinets à élément rotatif.
	2975:		Mesure de débit de l'eau dans les conduites fermées – Méthodes par traceurs.
	2975-1	(1974):	Partie I: Généralités.
	2975-2	(1975):	Partie II: Méthode d'injection à débit constant, utilisant des traceurs non radioactifs.
	2975-3	(1976):	Partie III: Méthode d'injection à débit constant, utilisant des traceurs radioactifs.
	2975-6	(1977):	Partie VI: Méthode du temps de transit, utilisant des traceurs non radioactifs
	2975-7	(1977):	Partie VII: Méthode du temps de transit, utilisant des traceurs radioactifs.
	3354	(1988):	Mesure de débit d'eau propre dans les conduites fermées – Méthode d'exploration du champ des vitesses dans les conduites en charge et dans le cas d'un écoulement régulier, au moyen de moulinets.
	3455	(1976):	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Etalonnage des moulinets à élément rotatif en bassins découverts rectilignes.
	3966	(1977):	Mesure du débit des fluides dans les conduites fermées – Méthode d'exploration du champ des vitesses au moyen de tubes de Pitot doubles.
	4373	(1979):	Mesure de débit des liquides dans les canaux découverts – Appareils de mesure du niveau de l'eau.
	5167	(1980):	Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes, tuyères et tubes de Venturi insérés dans des conduites en charge de section circulaire.
	5168	(1978):	Mesure de débit des fluides – Calcul de l'erreur limite sur une mesure de débit.
	7066:		Evaluation de l'incertitude dans l'étalonnage et l'utilisation des appareils de mesure du débit.
	7066-1	(1989):	Partie 1: Relations d'étalonnage linéaires.
	7066-2	(1988):	Partie 2: Relations d'étalonnage non linéaires.

ISO standards quoted:

Publications Nos. 31–3	(1978):	Quantities and units of mechanics. Amendment 01 – 1985.
748	(1979):	Liquid flow measurements in open channels – Velocity-area methods.
1438–1	(1980):	Water flow measurement in open channels using weirs and Venturi flumes-Part 1: Thin-plate weirs.
2186	(1973):	Fluid flow in closed conduits – Connections for pressure signal transmissions between primary and secondary elements.
2533	(1975):	Standard Atmosphere. Addendum 01 – 1985.
2537	(1988):	Liquid flow measurement in open channels – Rotating element current-meters.
2975:		Measurement of water flow in closed conduits – Tracer methods.
2975–1	(1974):	Part I: General.
2975–2	(1975):	Part II: Constant rate injection method using non-radioactive tracers.
2975–3	(1976):	Part III: Constant rate injection method using radioactive tracers.
2975–6	(1977):	Part VI: Transit time method using non-radioactive tracers.
2975–7	(1977):	Part VII: Transit time method using radioactive tracers.
3354	(1988):	Measurement of clean water flow in closed conduits – Velocity area method using current-meters in full conduits and under regular flow conditions.
3455	(1976):	Liquid flow measurement in open channels – Calibration of rotating-element current-meters in straight open tanks.
3966	(1977):	Measurement of fluid flow in closed conduits – Velocity area method using Pitot static tubes.
4373	(1979):	Measurement of liquid flow in open channels – Water level measuring devices.
5167	(1980):	Measurement of fluid flow by means of orifice plates, nozzles and Venturi tubes inserted in circular cross-section conduits running full.
5168	(1978):	Measurement of fluid flow – Estimation of uncertainty of a flow-rate measurement.
7066:		Assessment of uncertainty in the calibration and use of flow measurement devices.
7066–1	(1989):	Part 1: Linear calibration relationships.
7066–2	(1988):	Part 2: Non-linear calibration relationships.

ESSAIS DE RÉCEPTION SUR PLACE DES TURBINES HYDRAULIQUES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES, EN VUE DE LA DÉTERMINATION DE LEURS PERFORMANCES HYDRAULIQUES

SECTION UN – RÈGLES GÉNÉRALES

1. Domaine d'application et objet

1.1 *Domaine d'application*

1.1.1 La présente Norme internationale régit les modalités des essais sur place destinés à déterminer dans quelle mesure les garanties contractuelles principales (voir 3.2) 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. Elle fixe également les méthodes de calcul des résultats ainsi que l'étendue, le contenu et le mode de présentation du rapport final.

1.1.2 Les essais sur modèle, lorsqu'ils sont effectués à titre d'essais de réception, font l'objet de la CEI 193, de sa Modification n° 1 et du premier complément 193 A ainsi que de la CEI 497.

1.1.3 Les essais des systèmes de régulation de vitesse font l'objet de la CEI 308.

1.2 *Objet*

L'objet de la présente norme pour les essais de réception sur place d'une turbine hydraulique, d'une pompe d'accumulation ou d'une pompe-turbine, que l'on appellera par la suite «la machine», est:

- 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 de la machine;
- de déterminer si les garanties contractuelles qui sont du domaine de cette norme sont respectées.

La décision d'effectuer un essai de réception sur place, ainsi que la définition de la teneur d'un tel essai, doivent faire l'objet d'un accord entre l'acheteur et le fournisseur de la machine. Pour cela on doit examiner, dans chaque cas, si les conditions de mesure prescrites dans la présente norme peuvent être respectées. L'influence des conditions d'écoulement et de la conception des ouvrages sur les incertitudes de mesure doit être prise en compte.

Si les conditions réelles dans lesquelles l'essai de réception serait effectué sur place ne permettent pas de s'assurer du respect des garanties, il est conseillé d'effectuer l'essai de réception sur modèle (voir 1.1.2).

1.3 *Types de machines*

D'une façon générale, la présente norme est applicable à toutes les turbines à action ou à réaction, pompes d'accumulation et pompes-turbines, quels que soient leurs dimensions et leur type. En particulier, elle s'applique aux machines directement couplées à des générateurs, des moteurs ou des moteurs-générateurs électriques.

Dans le domaine de la présente norme, le terme «turbine» inclut une pompe-turbine fonctionnant en turbine et le terme «pompe» inclut une pompe-turbine fonctionnant en pompe. De même, le terme «générateur» inclut un moteur-générateur fonctionnant en générateur et le terme «moteur» inclut un moteur-générateur fonctionnant en moteur.

FIELD ACCEPTANCE TESTS TO DETERMINE THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES

SECTION ONE – GENERAL RULES

Scope and object

1 *Scope*

- 1.1 This International Standard covers the arrangements for tests at the site to determine the extent to which the main contract guarantees (see 3.2) have been satisfied. It contains the rules governing their conduct and prescribes measures to be taken if any phase of the tests is disputed. It deals with methods of computation of the results as well as the extent, content and style of the final report.
- 1.2 Model tests, when used for acceptance purposes, are dealt with in IEC 193 with Amendment No. 1, first supplement 193 A, and in IEC 497.
- 1.3 Tests of speed governing systems are dealt with in IEC 308.

2 *Object*

The purpose of this standard for field acceptance tests of hydraulic turbines, storage pumps or pump-turbines, also called the machine, is:

- to define the terms and quantities which are used;
- to specify methods of testing and ways of measuring the quantities involved in order to ascertain the hydraulic performance of the machine;
- to determine if the contract guarantees which fall within the scope of this standard have been fulfilled.

The decision to perform field acceptance tests including the definition of their scope is the subject of an agreement between the purchaser and the supplier of the machine. For this, it has to be examined in each case, whether the measuring conditions recommended in this standard can be realized. The influence on the measuring uncertainties, due to hydraulic and civil conditions has to be taken into account.

If the actual conditions for field acceptance tests do not allow compliance with the guarantees to be proved, it is recommended that acceptance tests be performed on models (see 1.1.2).

3 *Types of machines*

In general, this standard applies to any size and type of impulse or reaction turbine, storage pump or pump-turbine. In particular, it applies to machines coupled to electric generators, motors or motor-generators.

For the purpose of this standard the term turbine includes a pump-turbine functioning as a turbine and the term pump includes a pump-turbine functioning as a pump. The term generator includes a motor-generator functioning as a generator and the term motor includes a motor-generator functioning as a motor.

1.4 Référence à des normes CEI et ISO

La liste des normes CEI et ISO auxquelles il est fait référence dans la présente norme est donnée en Préface. S'il apparaît une contradiction entre cette norme et une autre norme de la CEI ou de l'ISO, les dispositions de cette norme prévalent.

1.5 Sujets exclus

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

1.5.2 Cette norme ne concerne ni les détails de construction des machines, ni les propriétés mécaniques de leurs différentes parties.

2. Terminologie, définitions, symboles et unités

2.1 Généralités

Les termes d'usage général, leurs définitions, symboles et unités, utilisés dans toute la norme sont énumérés dans le présent article. Les termes plus particuliers sont définis là où ils apparaissent.

Les termes suivants sont donnés au 5.1.2 et à la figure 11:

- 1) Une *séquence* comprend les lectures et/ou les enregistrements qui permettent d'établir les performances de la machine à un régime de fonctionnement déterminé.
- 2) Un *point* est établi par une ou plusieurs séquences consécutives effectuées au même régime de fonctionnement et avec des ouvertures inchangées.
- 3) Un *essai* comprend un ensemble de données et de résultats qui permet d'établir les performances de la machine dans tout le domaine de fonctionnement spécifié.

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.

2.2 Unités

Le Système International d'Unités (SI) est utilisé tout au long de cette norme*.

Tous les termes sont donnés en unités de base SI ou en unités cohérentes dérivées (par exemple N pour $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$). 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 cohérentes (par exemple kilowatt ou mégawatt au lieu de watt pour une puissance, kilopascal ou bar ($= 10^5 \text{ Pa}$) au lieu de pascal pour une pression, min^{-1} au lieu de s^{-1} pour une vitesse de rotation, etc.). Les températures thermodynamiques (ou 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.

2.3 Liste des termes, définitions, symboles et unités

2.3.1 Indices et signes représentatifs

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 ISO 31-3.

1.4 *Reference to IEC and ISO Standards*

IEC and ISO Standards referred to in this standard are listed in the preface. If a contradiction is found between this standard and another IEC or ISO standard, this standard shall prevail.

1.5 *Excluded topics*

- 1.5.1 This standard excludes all matters of a purely commercial interest except those inextricably bound up with the conduct of the tests.
- 1.5.2 This standard is concerned neither with the structural details of the machines nor with the mechanical properties of their components.

2. **Terms, definitions, symbols and units**

2.1 *General*

The common terms, definitions, symbols and units used throughout the standard are listed in this clause. Specialised terms are explained where they appear.

The following terms are given in 5.1.2 and Figure 11:

- 1) A *run* comprises the readings and/or recordings sufficient to calculate the performance of the machine at one operating condition.
- 2) A *point* is established by one or more consecutive runs at the same operating conditions and unchanged settings.
- 3) A *test* comprises a collection of data and results adequate to establish the performance of the machine over the specified range of operating conditions.

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

2.2 *Units*

The International System of Units (SI) has been used throughout this standard*.

All terms are given in SI base units or derived coherent units (e.g. N instead of $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$). 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 or megawatt instead of watt for power, kilopascal or bar ($= 10^5 \text{ Pa}$) instead of pascal for pressure, min^{-1} instead of s^{-1} for rotational speed, etc.). Temperatures may be given in degrees Celsius because thermodynamic (absolute) temperatures (in kelvins) are rarely required.

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

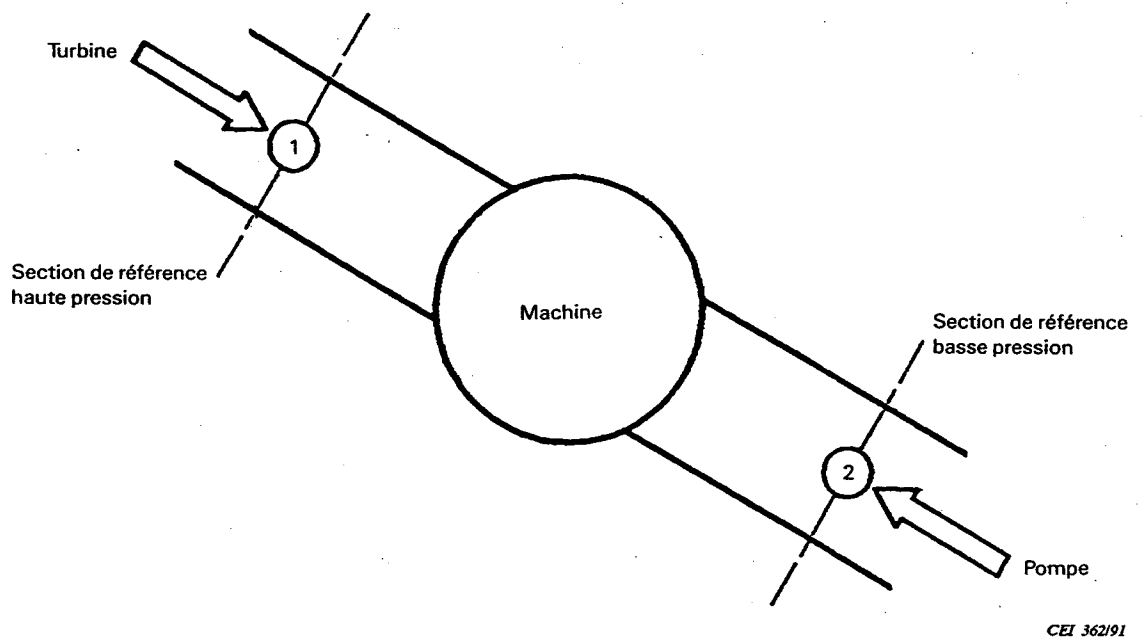
2.3 *List of terms, definitions, symbols and units*

2.3.1 *Subscripts and symbols*

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 ISO 31-3.

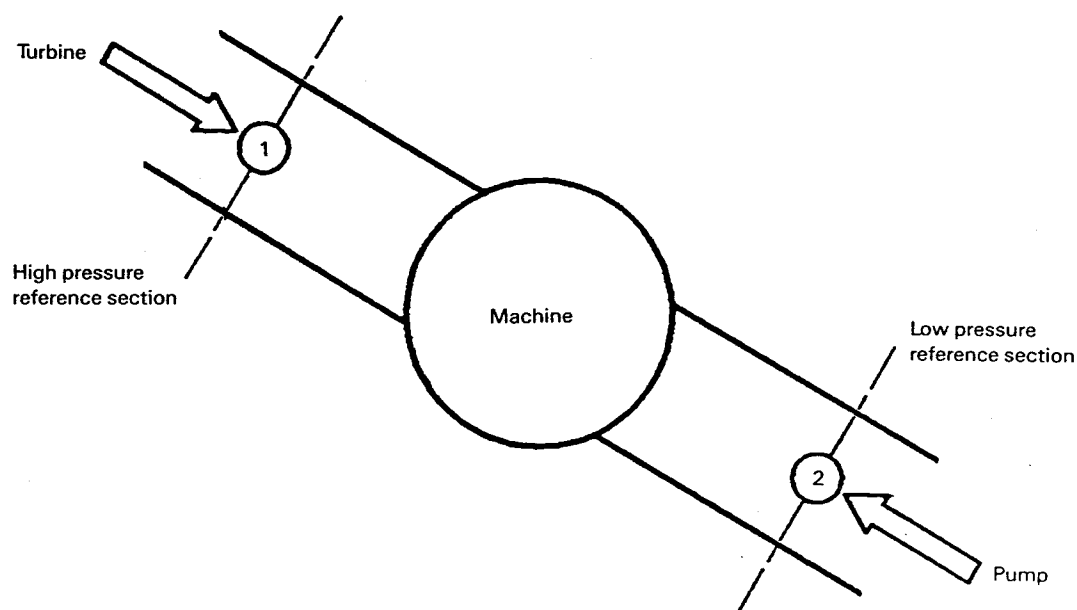
Paragraphe	Terme	Définition	Indice ou signe représentatif
2.3.1.1	Section de référence haute pression	Section côté haute pression de la machine par rapport à laquelle les performances garanties sont définies (voir figure 1)	1
2.3.1.2	Section de référence basse pression	Section côté basse pression de la machine par rapport à laquelle les performances garanties sont définies (voir figure 1)	2
2.3.1.3	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 11.2.1)	1', 1'', ...
2.3.1.4	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 11.2.1)	2', 2'', ...
2.3.1.5	Spécifié	Indice désignant les valeurs de grandeurs telles que la vitesse de rotation, le débit, etc. pour lesquelles d'autres grandeurs sont garanties	sp
2.3.1.6	Maximal Minimal	Indices désignant la valeur maximale ou minimale d'une grandeur quelconque	max min
2.3.1.7	Limites	Valeurs définies contractuellement: — à ne pas dépasser — à atteindre	  
2.3.1.8	Ambiant	Indice se référant aux conditions atmosphériques environnantes	amb



CEI 362/91

Figure 1 – Représentation schématique d'une machine hydraulique

Sub-clause	Term	Definition	Subscript symbol
2.3.1.1	High pressure reference section	The high pressure section of the machine to which the performance guarantees refer (see Figure 1)	1
2.3.1.2	Low pressure reference section	The low pressure section of the machine to which the performance guarantees refer (see Figure 1)	2
2.3.1.3	High pressure measuring sections	Whenever possible these sections should coincide with section 1: otherwise the measured values shall be adjusted to section 1 (see 11.2.1)	1', 1'', ...
2.3.1.4	Low pressure measuring sections	Whenever possible these sections should coincide with section 2: otherwise the measured values shall be adjusted to section 2 (see 11.2.1)	2', 2'', ...
2.3.1.5	Specified	Subscript denoting values of quantities such as speed, discharge etc. for which other quantities are guaranteed	sp
2.3.1.6	Maximum Minimum	Subscripts denoting maximum or minimum values of any term	max min
2.3.1.7	Limits	Contractually defined values: — not to be exceeded — to be reached	  
2.3.1.8	Ambient	Subscript referring to surrounding atmospheric conditions	amb

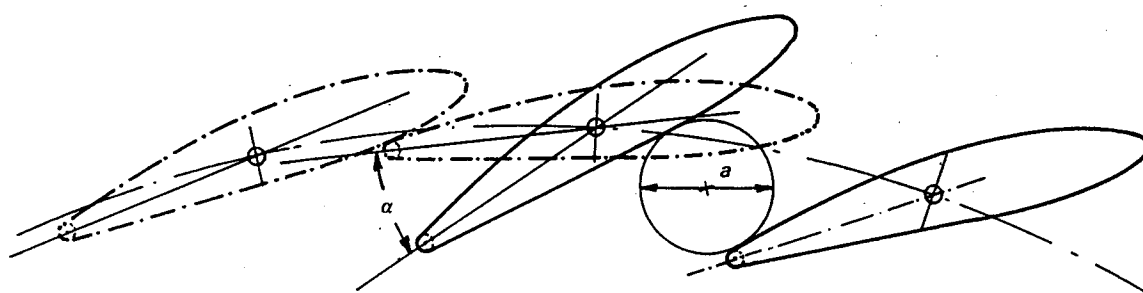


IEC 362/91

Figure 1 – Schematic representation of a hydraulic machine

2.3.2 Termes géométriques

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.2.1	Aire	Aire nette d'une section transversale normale à la direction générale de l'écoulement	A	m ²
2.3.2.2	Ouverture du distributeur	Angle moyen des aubes directrices mesuré à partir de la position fermée* ou distance minimale moyenne entre aubes directrices adjacentes (à un emplacement défini, si nécessaire) (voir figure 2)	α a	degré m
2.3.2.3	Ouverture de l'injecteur (turbine à action)	Course moyenne des pointeaux mesurée à partir de la position fermée*	s	m
2.3.2.4	Inclinaison des pales	Inclinaison moyenne des pales de la roue mesurée à partir d'une position donnée*	β	degré
2.3.2.5	Niveau	Cote d'un point du système par rapport au niveau de référence (habituellement le niveau moyen de la mer)	z	m
2.3.2.6	Différence de niveau	Différence des cotes de deux points quelconques du système	Z	m



CEI 363/91

Figure 2 – Ouverture du distributeur (à partir de la position fermée)

* Sous la pression d'huile normale de fonctionnement.

2.3.2 Geometric terms

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.2.1	Area	Net cross sectional area normal to general flow direction	A	m^2
2.3.2.2	Guide vane opening	Average vane angle measured from closed position* or average shortest distance between adjacent guide vanes (at a defined position, if necessary) (see Figure 2)	α a	degree m
2.3.2.3	Needle opening (impulse turbine)	Average needle stroke measured from closed position*	s	m
2.3.2.4	Runner blade opening	Average runner blade angle measured from a given position*	β	degree
2.3.2.5	Level	Elevation of a point in the system above the reference datum (usually mean sea level)	z	m
2.3.2.6	Difference of levels	Difference of elevation between any two points in the system	Z	m

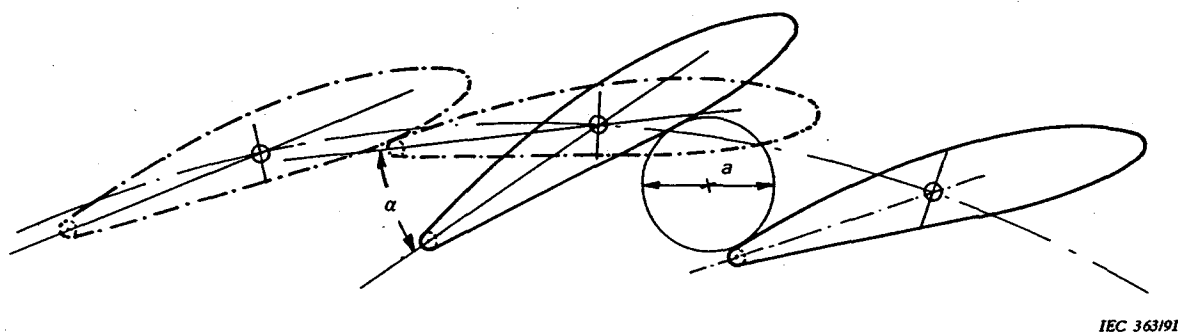


Figure 2 – Guide vane opening (from closed position)

* Under normal working oil pressure.

2.3.3 Grandeurs et propriétés physiques

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.3.1	Accélération due à la pesanteur	Valeur locale de l'accélération due à la pesanteur en fonction de l'altitude et de la latitude du lieu d'essai (voir annexe E, tableau EI)	g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
2.3.3.2	Température	Température thermodynamique; température Celsius $\vartheta = \Theta - 273,15$	Θ ϑ	K °C
2.3.3.3	Masse volumique	Masse par unité de volume a) Les valeurs pour l'eau sont données à l'annexe E, tableau EII (on utilise communément ρ au lieu de ρ_w) b) Les valeurs pour l'air sont données à l'annexe E, tableau EIII. On utilise habituellement la valeur de la masse volumique de l'air au niveau de référence de la machine (voir 2.3.7.10) c) Les valeurs pour le mercure sont données à l'annexe E, tableau EIV	ρ ρ_w ρ_a ρ_{Hg}	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
2.3.3.4	Volume massique	Volume par unité de masse. Dans cette norme, utilisé seulement pour l'eau	$1/\rho$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.3.5	Facteur isotherme	Facteur caractérisant une propriété thermodynamique. Les valeurs pour l'eau sont données à l'annexe E, tableau EV	α	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.3.6	Capacité thermique massique	Coefficient de variation de l'enthalpie massique en fonction de la température, à pression constante. Les valeurs pour l'eau sont données à l'annexe E, tableau EVI	c_p	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ ou $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
2.3.3.7	Pression de vapeur (absolue)	Dans le domaine de cette norme la pression partielle absolue de vapeur dans le mélange gazeux surmontant la surface du liquide est la pression de vapeur saturante correspondant à la température. Les valeurs pour l'eau distillée sont données à l'annexe E, tableau EVII	p_{va}	Pa
2.3.3.8	Viscosité dynamique	Grandeur caractérisant le comportement mécanique d'un fluide (voir ISO 31-3)	μ	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
2.3.3.9	Viscosité cinématique	Rapport de la viscosité dynamique à la masse volumique: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$	ν	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

2.3.3 Physical quantities and properties

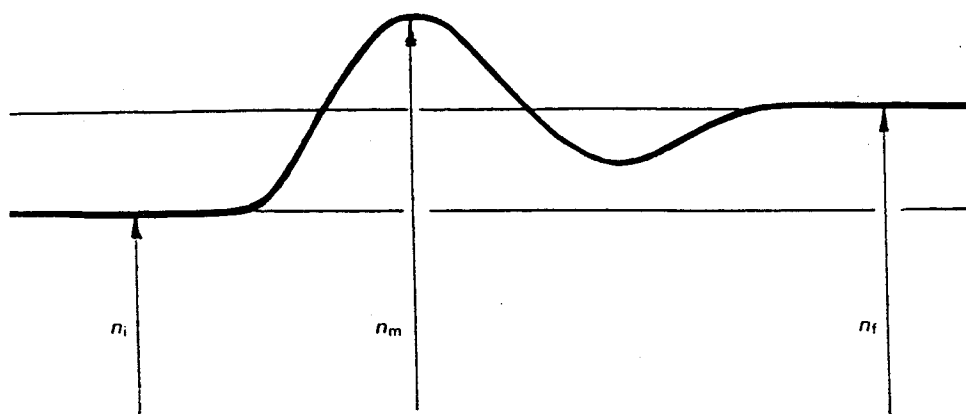
Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.3.1	Acceleration due to gravity	Local value of g as a function of altitude and latitude of the place of testing (see Appendix E, Table EI)	g	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
2.3.3.2	Temperature	Thermodynamic temperature; Celsius temperature $\vartheta = \Theta - 273,15$	Θ ϑ	K $^{\circ}\text{C}$
2.3.3.3	Density	Mass per unit volume a) Values for water are given in Appendix E, Table EII (ρ is commonly used instead of ρ_w) b) Values for air are given in Appendix E, Table EIII. Usually the value of air density at the reference level of the machine (see 2.3.7.10) is used c) Values for mercury are given in Appendix E, Table EIV	ρ ρ_w ρ_a ρ_{Hg}	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
2.3.3.4	Specific volume	Volume per unit mass. Used only for water in this standard	$1/\rho$	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.3.5	Isothermal factor	Factor characterizing a thermodynamic property. Values for water are given in Appendix E, Table EV	α	$\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.3.6	Specific heat capacity	The rate of change of enthalpy per unit mass with change in temperature at constant pressure. Values for water are given in Appendix E, Table EVI	c_p	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^{\circ}\text{C}^{-1}$ or $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
2.3.3.7	Vapour pressure (absolute)	For purposes of this standard the absolute partial pressure of the vapour in the gas mixture over the liquid surface is the saturation vapour pressure corresponding to the temperature. Values for distilled water are given in Appendix E, Table EVII	p_{va}	Pa
2.3.3.8	Dynamic viscosity	A quantity characterising the mechanical behaviour of a fluid (see ISO 31-3)	μ	$\text{Pa} \cdot \text{s}$
2.3.3.9	Kinematic viscosity	Ratio of the dynamic viscosity to the density: $\nu = \frac{\mu}{\rho}$	ν	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$

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

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.4.1	Débit (Débit-volume)	Volume d'eau s'écoulant par unité de temps à travers une section	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.2	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 <i>Note.</i> — Le débit-masse est invariable entre deux sections s'il n'existe entre celles-ci ni apport ni prélèvement d'eau	(ρQ)	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.3	Débit mesuré	Volume d'eau s'écoulant par unité de temps à travers une section de mesure, par exemple 1' (voir 2.3.1.3 et 2.3.1.4)	$Q_{1'}$ ou $Q_{2'}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.4	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	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.5	Débit corrigé dans une section de référence	Volume d'eau transposé à la pression ambiante (voir 2.3.5.2) s'écoulant par unité de temps à travers une section de référence par exemple $Q_{1c} = (\rho Q)_1 / \rho_{p \text{ amb}}$ où $\rho_{p \text{ amb}}$ est la masse volumique de l'eau à la pression ambiante et à la température de l'eau dans la section de référence	Q_{1c} ou Q_{2c}	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.6	Débit à vide	Débit absorbé par une turbine fonctionnant à vide, à la vitesse de rotation et sous l'énergie hydraulique massique spécifiées, générateur non excité	Q_0	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.7	Débit indiciel	Valeur du débit obtenue par une méthode de mesure dont les résultats sont exprimés selon une échelle arbitraire (méthode non étalonnée) (voir article 15)	Q_i	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.8	Vitesse débitante	Rapport du débit-volume à l'aire A de la section de passage	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.9	Vitesse de rotation	Nombre de tours de la machine par unité de temps	n	s^{-1}
2.3.4.10	Vitesse à vide	Vitesse d'une turbine en régime permanent à charge nulle, régulateur en service, générateur non excité	n_0	s^{-1}
2.3.4.11	Vitesse initiale	Vitesse d'une turbine en régime permanent immédiatement avant que l'on commence à modifier ses conditions de fonctionnement (voir figure 3)	n_i	s^{-1}
2.3.4.12	Vitesse finale	Vitesse d'une turbine en régime permanent après amortissement de toutes les oscillations transitoires (voir figure 3)	n_f	s^{-1}
2.3.4.13	Vitesse instantanée maximale d'une turbine	Vitesse la plus élevée atteinte par une turbine lors d'une suppression soudaine spécifiée de la charge, dans des conditions de fonctionnement spécifiées du régulateur (voir figure 3)	n_m	s^{-1}
2.3.4.14	Vitesse instantanée maximum maximorum d'une turbine	Vitesse instantanée maximale atteinte par une turbine dans les conditions de fonctionnement transitoire les plus défavorables (dans certains cas, la vitesse instantanée maximum maximorum peut dépasser la vitesse maximale d'emballlement stabilisé)	$n_{m \text{ max}}$	s^{-1}
2.3.4.15	Vitesse maximale d'emballlement stabilisé	Vitesse finale, après amortissement des oscillations transitoires, pour l'ouverture des injecteurs ou du distributeur et/ou l'inclinaison des pales qui donnent la vitesse maximale, la machine électrique étant déconnectée de sa charge ou du réseau et non excitée et sous l'énergie hydraulique massique (la hauteur) maximale. La vitesse d'emballlement, particulièrement celle des machines de vitesse spécifique élevée, peut être influencée par la cavitation et dépend donc du NPSE (voir 2.3.6.9) disponible	$n_{R \text{ max}}$	s^{-1}

2.3.4 Discharge, velocity and speed terms

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.4.1	Discharge (volume flow rate)	Volume of water per unit time flowing through any section in the system	Q	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.2	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 <i>Note.</i> – The mass flow rate is constant between two sections if no water is added or removed.	(ρQ)	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.3	Measured discharge	Volume of water per unit time flowing through any measuring section, for example 1' (see 2.3.1.3 and 2.3.1.4)	$Q_{1'}$ or $Q_{2'}$	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.4	Discharge at reference section	Volume of water per unit time flowing through the reference section 1 or 2	Q_1 or Q_2	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.5	Corrected discharge at reference section	Volume of water per unit time flowing through a reference section referred to the ambient pressure (see 2.3.5.2) e.g. $Q_{1c} = (\rho Q)_1 / \rho_{p \text{ amb}}$ (see 3.2.3) where $\rho_{p \text{ amb}}$ is the density at ambient pressure and the water temperature at the reference section	Q_{1c} or Q_{2c}	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.6	No-load turbine discharge	Turbine discharge at no-load, at specified speed and specified specific hydraulic energy and generator not excited	Q_0	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.7	Index discharge	Discharge given by relative (uncalibrated) flow measurement (see Clause 15)	Q_i	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.8	Mean velocity	Discharge divided by the area A	v	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
2.3.4.9	Rotational speed	Number of revolutions per unit time	n	s^{-1}
2.3.4.10	No load turbine speed	The steady state turbine speed at no load with governor connected and generator not excited	n_0	s^{-1}
2.3.4.11	Initial speed	The steady state turbine speed just before a change in operating conditions is initiated (see Figure 3)	n_i	s^{-1}
2.3.4.12	Final speed	The steady state turbine speed after all transient waves have been dissipated (see Figure 3)	n_f	s^{-1}
2.3.4.13	Momentary overspeed of a turbine	The highest speed attained during a sudden specified load rejection from a specified governor setting (see Figure 3)	n_m	s^{-1}
2.3.4.14	Maximum momentary overspeed of a turbine	The momentary overspeed attained under the most unfavourable transient conditions (in some cases the maximum momentary overspeed can exceed the maximum steady state runaway speed)	$n_{m \text{ max}}$	s^{-1}
2.3.4.15	Maximum steady state runaway speed	The speed for that position of needles or guide vanes and/or runner/impeller blades which gives the highest value after all transient waves have been dissipated with electrical machine disconnected from load or network and not excited, under the maximum specific hydraulic energy (head). The runaway speed particularly of high specific speed machines may be influenced by cavitation and thus depends on the available NPSE (see 2.3.6.9)	$n_{R \text{ max}}$	s^{-1}

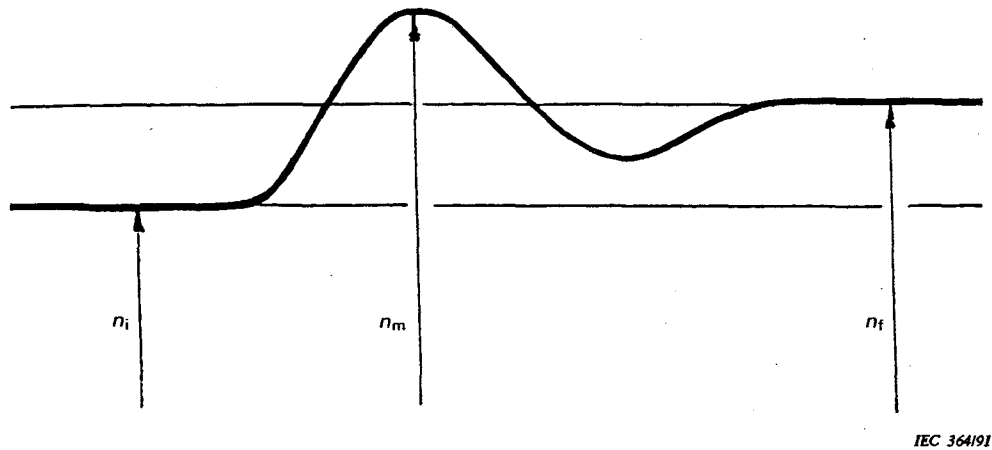


CEI 364/91

Figure 3 – Variation de vitesse de la turbine lors d'une suppression soudaine de charge

2.3.5 Termes relatifs à la pression

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.5.1	Pression statique (absolue)	Pression statique d'un fluide mesurée par rapport au vide absolu	p_{abs}	Pa
2.3.5.2	Pression ambiante	Pression absolue de l'air ambiant	p_{amb}	Pa
2.3.5.3	Pression effective	Différence entre la pression statique absolue d'un fluide et la pression ambiante au lieu et à l'instant du mesurage: $p = p_{abs} - p_{amb}$	p	Pa
2.3.5.4	Pression initiale	Pression effective qui existe en régime permanent en un point donné du système immédiatement avant que l'on commence à modifier les conditions de fonctionnement (voir figure 4)	p_i	Pa
2.3.5.5	Pression finale	Pression effective qui existe en régime permanent en un point donné du système après amortissement des oscillations transitoires (voir figure 4)	p_f	Pa
2.3.5.6	Pression instantanée maximale ou minimale	Pression effective la plus élevée ou la plus faible atteinte à un point donné du système dans des conditions de fonctionnement transitoire spécifiées (voir figure 4)	p_m^+ p_m^-	Pa Pa
2.3.5.7	Pression instantanée maximum maximum ou minimum minimum	Pression instantanée maximale ou minimale dans les conditions de fonctionnement transitoire les plus défavorables	$p_{m\max}^+$ $p_{m\min}^-$	Pa Pa

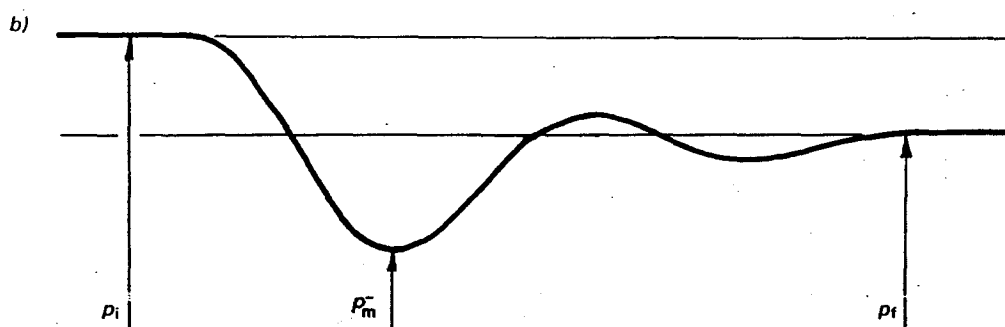
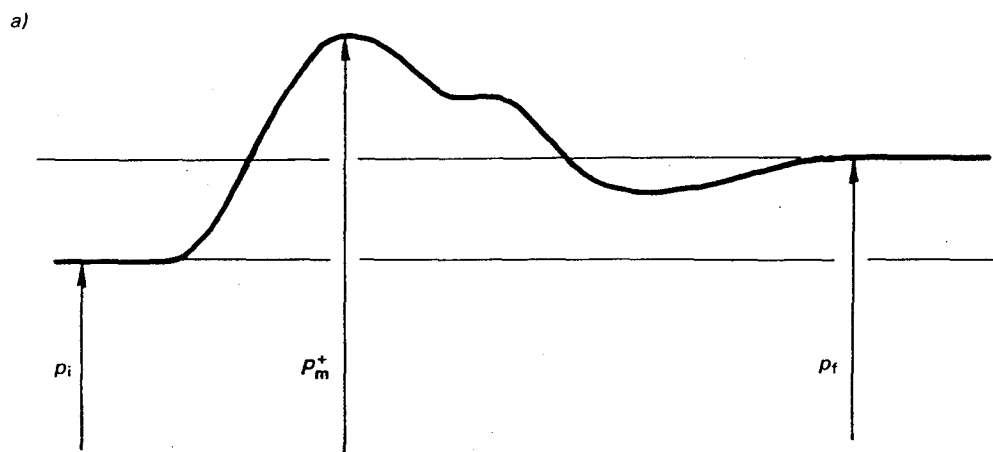


IEC 364/91

Figure 3 – Variation of turbine speed during a sudden load rejection

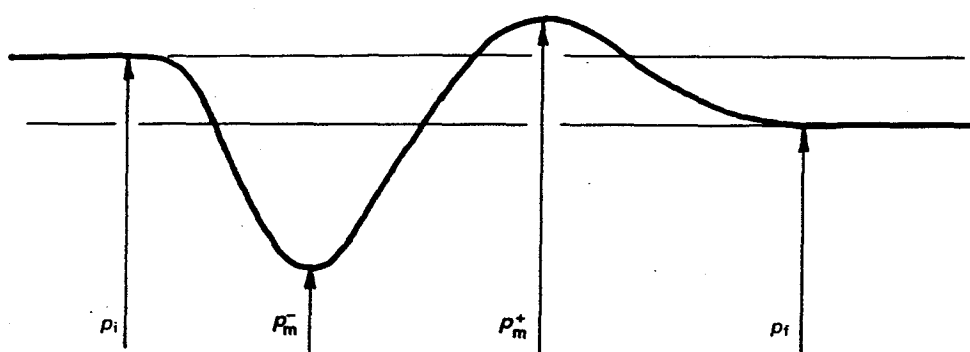
2.3.5 Pressure terms

Sub-Clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.5.1	Absolute pressure	The static pressure of a fluid measurement with reference to a perfect vacuum	p_{abs}	Pa
2.3.5.2	Ambient pressure	The absolute pressure of the ambient air	p_{amb}	Pa
2.3.5.3	Gauge pressure	The difference between the absolute pressure of a fluid and the ambient pressure at the place and time of measurement: $p = p_{abs} - p_{amb}$	p	Pa
2.3.5.4	Initial pressure	The steady state gauge pressure which occurs at a specified point of the system just before a change in operating conditions is initiated (see Figure 4)	p_i	Pa
2.3.5.5	Final pressure	The steady state gauge pressure which occurs at a specified point of the system after all transient waves have been dissipated (see Figure 4)	p_f	Pa
2.3.5.6	Momentary pressure	The highest/lowest gauge pressure which occurs at a specified point of the system under specified transient conditions (see Figure 4)	p_m^+ p_m^-	Pa Pa
2.3.5.7	Maximum/minimum momentary pressure	The momentary pressure under the most unfavourable transient conditions	$p_{m\ max}^+$ $p_{m\ min}^-$	Pa Pa



CEI 363/91

Figure 4a – Variation de pression à la section de référence haute pression d'une turbine
a) lors d'une suppression soudaine de charge spécifiée
b) lors d'une prise soudaine de charge spécifiée



CEI 366/91

Figure 4b – Variation de pression à la section de référence haute pression d'une pompe lors d'un déclenchement

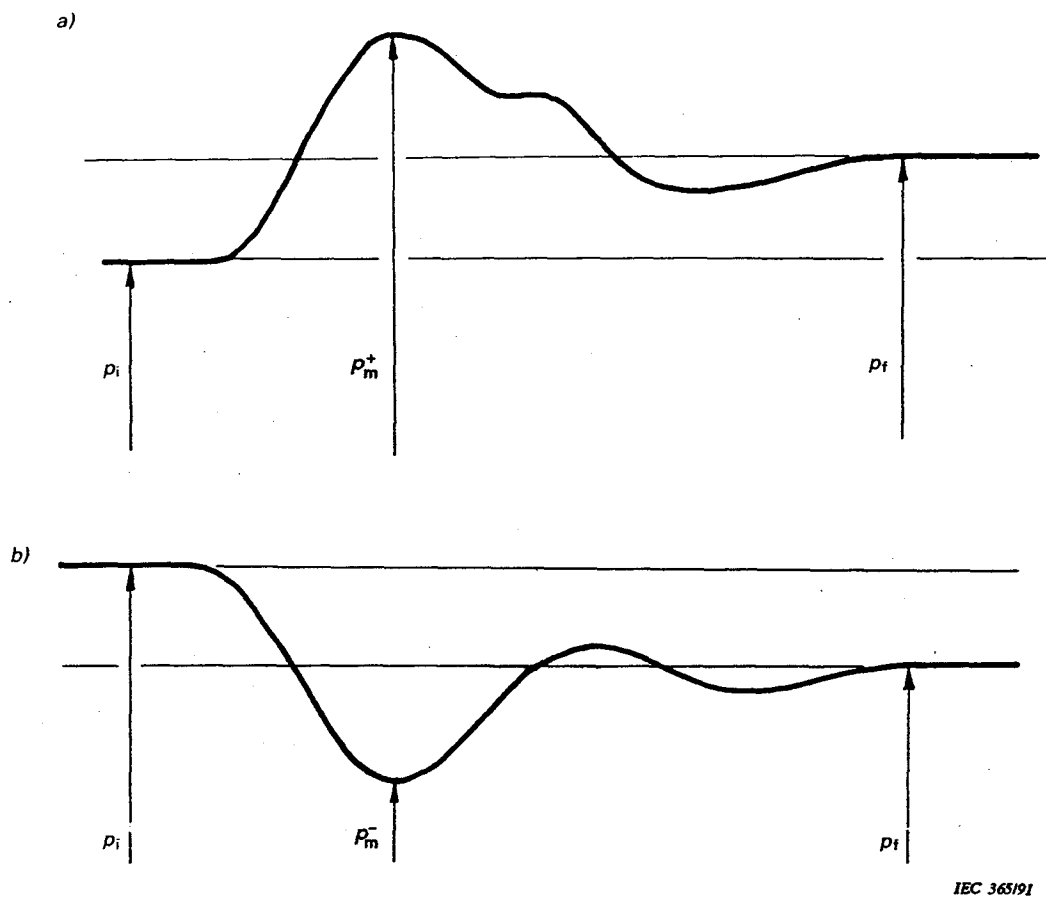


Figure 4a – Variation of pressure at the turbine high pressure reference section
 a) when a specified load is suddenly rejected
 b) when a specified load is suddenly accepted

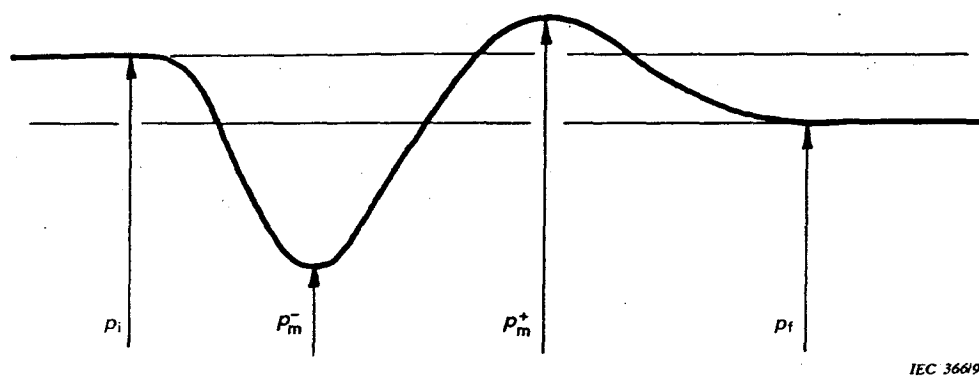


Figure 4b – Variation of pressure at the pump high pressure reference section during a power failure

2.3.6 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 précédentes CEI 41 et 198.

Cette dernière grandeur (hauteur) présente l'inconvénient de dépendre du poids, donc de l'accélération due à la pesanteur g , qui 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 2.3.7 sous forme de hauteur. Les termes correspondants ne diffèrent que par le facteur g , valeur locale de l'accélération due à la pesanteur.

Le symbole utilisé pour désigner l'énergie massique dans une section donnée de l'écoulement est la lettre minuscule e ; le symbole utilisé pour désigner la différence d'énergie massique entre deux sections est la lettre majuscule E . Il en est de même pour h et H .

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.6.1	Energie massique	Energie de l'eau par unité de masse dans une section quelconque	e	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$
2.3.6.2	Energie hydraulique massique de la machine	Energie massique de l'eau disponible entre les sections de référence haute et basse pressions de la machine en tenant compte de l'influence de la compressibilité: $E = \frac{p_{\text{abs1}} - p_{\text{abs2}}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$ avec $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ et $\bar{g} = \frac{g_1 + g_2}{2}$ *,** <i>Note.</i> – On peut prendre pour valeur de $\bar{g}$ la valeur de l'accélération due à la pesanteur au niveau de référence de la machine (voir 2.3.7.10). Les valeurs de ρ_1 et ρ_2 peuvent être calculées à partir de p_{abs1} et p_{abs2} respectivement en tenant compte de θ_1 ou de θ_2 dans les deux cas, car la différence de ces températures n'a qu'une influence négligeable sur ρ	E	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.3	Energie mécanique massique à la roue (ou aux roues)	Rapport de la puissance mécanique transmise par l'accouplement de la roue (ou des roues) et de l'arbre (voir article 14) au débit-masse: $E_m = \frac{P_m}{(\rho Q)_1}$ (pour P_m , voir 2.3.8.4)	E_m	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.4	Energie hydraulique massique de l'aménagement	Energie hydraulique massique disponible entre le niveau de la retenue et le niveau du canal du côté basse pression de l'aménagement (voir figure 6). Elle est donnée par: $E_g = \frac{p_{\text{abs3}} - p_{\text{abs4}}}{\bar{\rho}} + \frac{v_3^2 - v_4^2}{2} + \bar{g}(z_3 - z_4)$ avec $\bar{\rho} = \frac{\rho_3 + \rho_4}{2}$ et $\bar{g} = \frac{g_3 + g_4}{2}$ On peut prendre pour valeur de $\bar{\rho}$ la valeur de la masse volumique de l'eau à la pression ambiante	E_g	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

* Les figures 5a, 5b (machines à réaction) et 5c (turbines à action) illustrent quelques cas courants d'application de cette formule de base définissant l'énergie hydraulique massique. La formule simplifiée applicable est donnée sous chaque figure. Les méthodes de mesure pour l'évaluation de l'énergie hydraulique massique de la machine sont présentées en détail à l'article 11.

** Voir annexe F.

2.3.6 Specific energy terms

In the International System of Units the 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 the former IEC 41 and 198.

The latter term (head) has the disadvantage that the weight depends on the 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 sub-clause and the head terms in 2.3.7. They differ only by the factor g , which is the local value of acceleration due to gravity.

The symbol for specific energy at any section of flow is the small letter e ; the symbol for the difference of specific energies between any two sections is the capital letter E . The same applies to h and H .

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.6.1	Specific energy	The energy per unit mass of water at any section	e	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$ $(\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2})$
2.3.6.2	Specific hydraulic energy of machine	Specific energy of water available between the high and low pressure reference sections of the machine, taking into account the influence of the compressibility $E = \frac{p_{\text{abs1}} - p_{\text{abs2}}}{\bar{\rho}} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$ with $\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2}$ and $\bar{g} = \frac{g_1 + g_2}{2}$ *,** <i>Note.</i> – The value of gravity acceleration at the reference level of the machine (see 2.3.7.10) may be assumed as $\bar{g}$. The values 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	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.3	Specific mechanical energy at runner(s)/impeller(s)	Mechanical power transmitted through the coupling of the runner(s)/impeller(s) and shaft (see Clause 14) divided by mass flow rate: $E_m = \frac{P_m}{(\rho Q)_1} \quad (\text{for } P_m, \text{ see 2.3.8.4})$	E_m	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.4	Specific hydraulic energy of the plant	Specific hydraulic energy available between head water level and tailwater level of the plant (see Figure 6) It is given by: $E_g = \frac{p_{\text{abs3}} - p_{\text{abs4}}}{\bar{\rho}} + \frac{v_3^2 - v_4^2}{2} + \bar{g}(z_3 - z_4)$ with $\bar{\rho} = \frac{\rho_3 + \rho_4}{2}$ and $\bar{g} = -\frac{g_3 + g_4}{2}$ The water density at ambient pressure may be assumed as $\bar{\rho}$	E_g	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

* Figures 5a, 5b (reaction machines) and 5c (impulse turbines) illustrate some common cases of application of the basic formula for the specific hydraulic energy. The applicable simplified formula is given under each figure. Measurement methods for the evaluation of the specific hydraulic energy of the machine are described in detail in Clause 11.

** See Appendix F.

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.6.5	Energie hydraulique massique d'une pompe à débit	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	$J \cdot kg^{-1}$
2.3.6.6	Perte d'énergie hydraulique massique	Energie hydraulique massique dissipée entre deux sections quelconques	E_L	$J \cdot kg^{-1}$
2.3.6.7	Perte d'énergie hydraulique massique à l'aspiration	Energie hydraulique massique dissipée entre le canal du côté basse pression et la section de référence basse pression de la machine (voir figure 41)	E_{Ls}	$J \cdot kg^{-1}$
2.3.6.8	Energie potentielle massique d'aspiration de la machine	Energie potentielle massique correspondant à la différence entre le niveau de référence de la machine (voir 2.3.7.10) et le niveau piézométrique dans la section 2: $E_s = g_2(z_r - z_2) = g_2 Z_s$ (voir figure 7)	E_s	$J \cdot kg^{-1}$
2.3.6.9	Energie massique nette à l'aspiration	Energie massique absolue à la section de référence basse pression, rapportée au niveau de référence de la machine, conformément à la figure 7, et diminuée de l'énergie massique correspondant à la pression de vapeur p_{va} * $NPSE = \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2(z_r - z_2)$ **	$NPSE$	$J \cdot kg^{-1}$

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

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.7.1	Hauteur géométrique*** de l'aménagement	Différence d'altitude entre les niveaux d'eau dans la retenue et dans le canal de fuite (voir figure 6)	Z_g	m
2.3.7.2	Hauteur de charge	Energie par unité de poids de l'eau dans une section quelconque $h = e/g$ Pour la définition de e , voir 2.3.6.1	h	m
2.3.7.3	Hauteur de chute nette (d'une turbine) ou hauteur nette de refoulement (d'une pompe)	$H = E/\bar{g}$ Pour la définition de E , voir 2.3.6.2	H	m
2.3.7.4	Hauteur brute***	$H_g = E_g/\bar{g}$ Pour la définition de E_g , voir 2.3.6.4	H_g	m
2.3.7.5	Hauteur à débit nul d'une pompe	$H_0 = E_0/\bar{g}$ Pour la définition de E_0 , voir 2.3.6.5	H_0	m
2.3.7.6	Perte de charge	$H_L = E_L/\bar{g}$ Pour la définition de E_L , voir 2.3.6.6	H_L	m

* Voir 2.3.3.7 et annexe E, tableau EVII.

** Pour la définition du coefficient de cavitation σ , voir les CEI 193A et 497.

*** La figure 6 illustre la relation entre hauteur brute et hauteur géométrique de l'aménagement.

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.6.5	Zero-discharge (shut-off) specific hydraulic energy of the pump	Pump specific energy at specified speed and specified guide vane and runner/impeller blade settings with high pressure side shut-off	E_0	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.6	Specific hydraulic energy loss	The specific hydraulic energy dissipated between any two sections	E_L	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.7	Suction specific hydraulic energy loss	The specific hydraulic energy dissipated between the tailwater level and the low pressure reference section of the machine (see figure 41)	E_{Ls}	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.8	Suction specific potential energy of the machine	Specific potential energy corresponding to the difference between the reference level of the machine (see 2.3.7.10) and the piezometric level at section 2: $E_s = g_2(z_r - z_{2'}) = g_2 Z_s$ (see Figure 7)	E_s	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
2.3.6.9	Net positive suction specific energy	Absolute specific energy at section 2 minus the specific energy due to vapour pressure p_{va}^* , referred to the reference level of the machine according to Figure 7 $NPSE = \frac{p_{abs2} - p_{va}}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2(z_r - z_2)^{**}$	$NPSE$	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$

2.3.7 Height and head terms

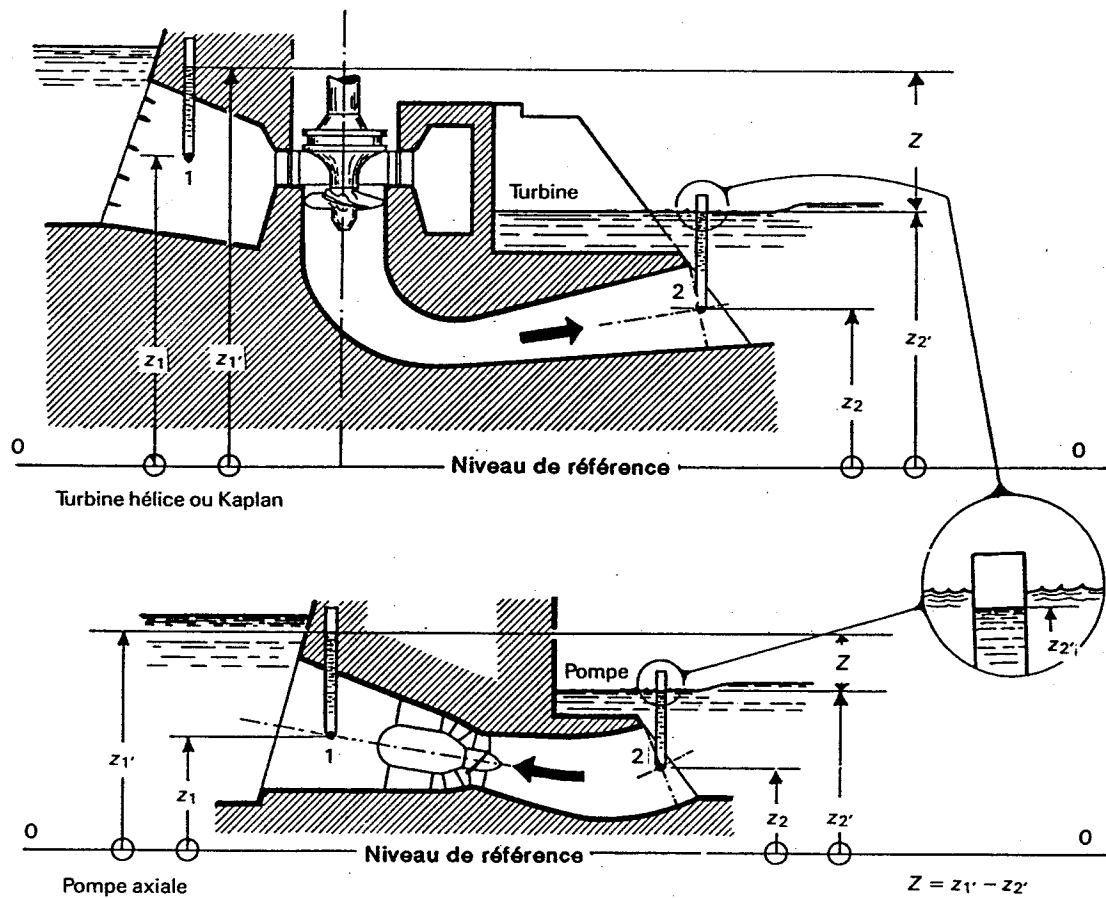
Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.7.1	Geodetic height of plant***	Difference in elevation between headwater level and tailwater level of plant (see Figure 6)	Z_g	m
2.3.7.2	Head	Energy per unit weight of water at any section $h = e/g$	h	m
2.3.7.3	Turbine or pump head	For definition of e , see 2.3.6.1 $H = E/\bar{g}$ For definition of E , see 2.3.6.2	H	m
2.3.7.4	Plant head***	$H_g = E_g/\bar{g}$ For definition of E_g , see 2.3.6.4	H_g	m
2.3.7.5	Zero-discharge (shut-off) head of pump	$H_0 = E_0/\bar{g}$ For definition of E_0 , see 2.3.6.5	H_0	m
2.3.7.6	Head loss	$H_L = E_L/\bar{g}$ For definition of E_L , see 2.3.6.6	H_L	m

* See 2.3.3.7 and Appendix E, Table EVII.

** For definition of cavitation factor σ , see IEC 193A and 497.

*** Figure 6 shows the relationship between geodetic height of plant and plant head.

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.7.7	Perte de charge à l'aspiration	$H_{Ls} = \frac{E_{Ls}}{g}$ Pour la définition de E_{Ls} , voir 2.3.6.7	H_{Ls}	m
2.3.7.8	Hauteur géométrique d'aspiration	$Z_s = \frac{E_s}{g_2}$ (voir figure 7) Pour la définition de E_s , voir 2.3.6.8	Z_s	m
2.3.7.9	Hauteur de charge nette absolue à l'aspiration	$NPSH = \frac{NPSE}{g_2}$ Pour la définition de $NPSE$, voir 2.3.6.9	$NPSH$	m
2.3.7.10	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 8.	z_r	m



CEI 367/91

Figure 5a – Machines de basse chute – Détermination de l'énergie hydraulique massique de la machine

Sub-clause	Term	Definition	Symbol	Unit
2.3.7.7	Suction head loss	$H_{Ls} = \frac{E_{Ls}}{g}$ For definition of E_{Ls} , see 2.3.6.7	H_{Ls}	m
2.3.7.8	Suction height	$Z_s = \frac{E_s}{g_2}$ (see Figure 7) For definition of E_s , see 2.3.6.8	Z_s	m
2.3.7.9	Net positive suction head	$NPSH = \frac{NPSE}{g_2}$ For definition of $NPSE$, see 2.3.6.9	$NPSH$	m
2.3.7.10	Reference level of the machine	Elevation of the point of the machine taken as reference for the setting of the machine as defined in Figure 8	z_r	m

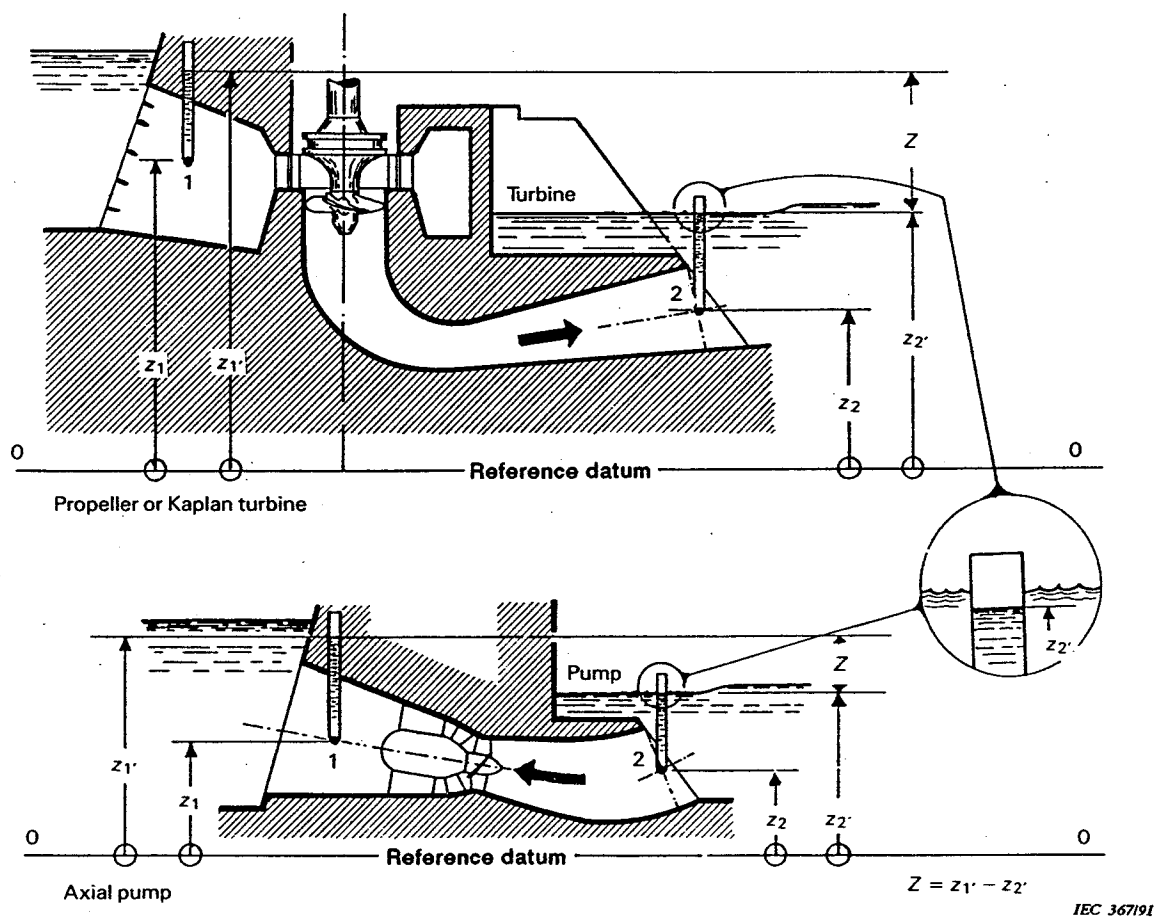


Figure 5a – Low-head machines – Determination of specific hydraulic energy of machine

On utilise aux points 1 et 2 des manomètres à colonne air-eau.

$$E = \bar{g}H = \frac{(p_{abs1} - p_{abs2})}{\bar{\rho}} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$$

La différence de pression entre 1 et 2 étant faible, la compressibilité de l'eau est négligée. On a donc:

$$\rho_1 = \rho_2 = \bar{\rho}$$

et donc:

$$p_{abs1} = \bar{\rho} \cdot \bar{g}(z_{1'} - z_1) + p_{amb1'}$$

$$p_{abs2} = \bar{\rho} \cdot \bar{g}(z_{2'} - z_2) + p_{amb2'}$$

$$p_{amb1'} - p_{amb2'} = -\rho_a \cdot \bar{g}(z_{1'} - z_{2'})$$

La formule de calcul simplifiée est donc:

$$E = \bar{g} \cdot (z_{1'} - z_{2'}) \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}}\right) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} = \bar{g} \cdot Z \left(1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}}\right) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

On peut prendre comme valeur de $\bar{\rho}$ la masse volumique de l'eau à la pression ambiante.

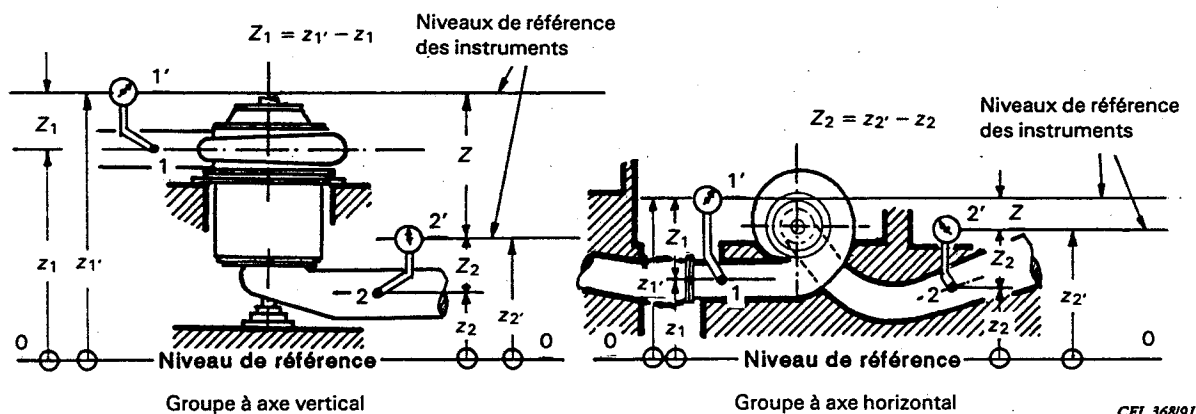


Figure 5b – Machines de moyenne ou haute chute – Détermination de l'énergie hydraulique massique de la machine

On utilise des manomètres aux points 1 et 2.

$$E = \bar{g}H = \frac{(p_{abs1} - p_{abs2})}{\bar{\rho}} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$$

Z étant petit comparé à H , la différence de pression ambiante entre 1' et 2' est négligée. On a donc:

$$p_{amb1'} = p_{amb2'} = p_{amb}$$

Comme Z_1 et Z_2 sont tous deux petits comparés à H , on peut admettre que:

$$Z_1 \cdot \frac{\rho_1}{\bar{\rho}} = Z_1 \quad \text{et} \quad Z_2 \cdot \frac{\rho_2}{\bar{\rho}} = Z_2$$

Water column manometers are applied at point 1 and 2.

$$E = \bar{g}H = \frac{(p_{abs1} - p_{abs2})}{\bar{\rho}} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$$

The compressibility of water is neglected because the difference of pressure between 1 and 2 is small therefore:

$$\rho_1 = \rho_2 = \bar{\rho}$$

Hence:

$$p_{abs1} = \bar{\rho} \cdot \bar{g}(z_{1'} - z_1) + p_{amb1'}$$

$$p_{abs2} = \bar{\rho} \cdot \bar{g}(z_{2'} - z_2) + p_{amb2'}$$

$$p_{amb1'} - p_{amb2'} = -\rho_a \cdot \bar{g}(z_{1'} - z_{2'})$$

and therefore the simplified formula is:

$$E = \bar{g} \cdot (z_{1'} - z_{2'}) \cdot \left(1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}}\right) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} = \bar{g} \cdot Z \left(1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}}\right) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

The water density at ambient pressure may be assumed as $\bar{\rho}$.

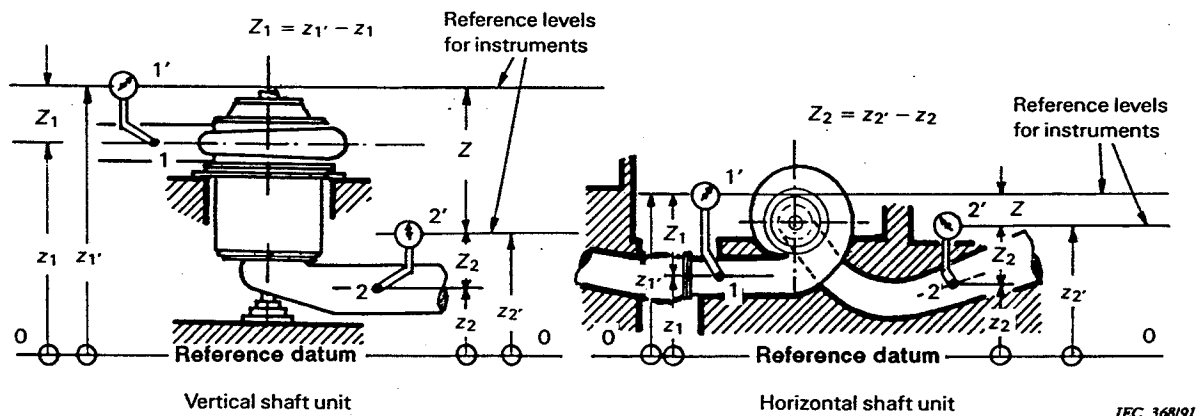


Figure 5b – Medium and high-head machines – Determination of specific hydraulic energy of machine

Pressure gauges manometers are applied at points 1 and 2.

$$E = \bar{g}H = \frac{(p_{abs1} - p_{abs2})}{\bar{\rho}} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g}(z_1 - z_2)$$

The difference in ambient pressure between 1' and 2' is neglected because Z is small compared to H , therefore:

$$p_{amb1'} = p_{amb2'} = p_{amb}$$

Since both Z_1 and Z_2 are small compared to H , it may be assumed that:

$$Z_1 \cdot \frac{\rho_1}{\bar{\rho}} = Z_1 \quad \text{and} \quad Z_2 \cdot \frac{\rho_2}{\bar{\rho}} = Z_2$$

et donc:

$$p_{abs1} = p_{1'} + Z_1 \cdot \rho_1 \cdot \bar{g} + p_{amb} \text{ où } p_{1'} \text{ est la pression effective mesurée en } 1'$$

$$p_{abs2} = p_{2'} + Z_2 \cdot \rho_2 \cdot \bar{g} + p_{amb} \text{ où } p_{2'} \text{ est la pression effective mesurée en } 2'$$

La formule de calcul simplifiée est donc:

$$E = \frac{(p_{1'} - p_{2'})}{\bar{\rho}} + \bar{g} \cdot (z_{1'} - z_{2'}) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} = \frac{(p_{1'} - p_{2'})}{\bar{\rho}} + \bar{g} \cdot Z + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

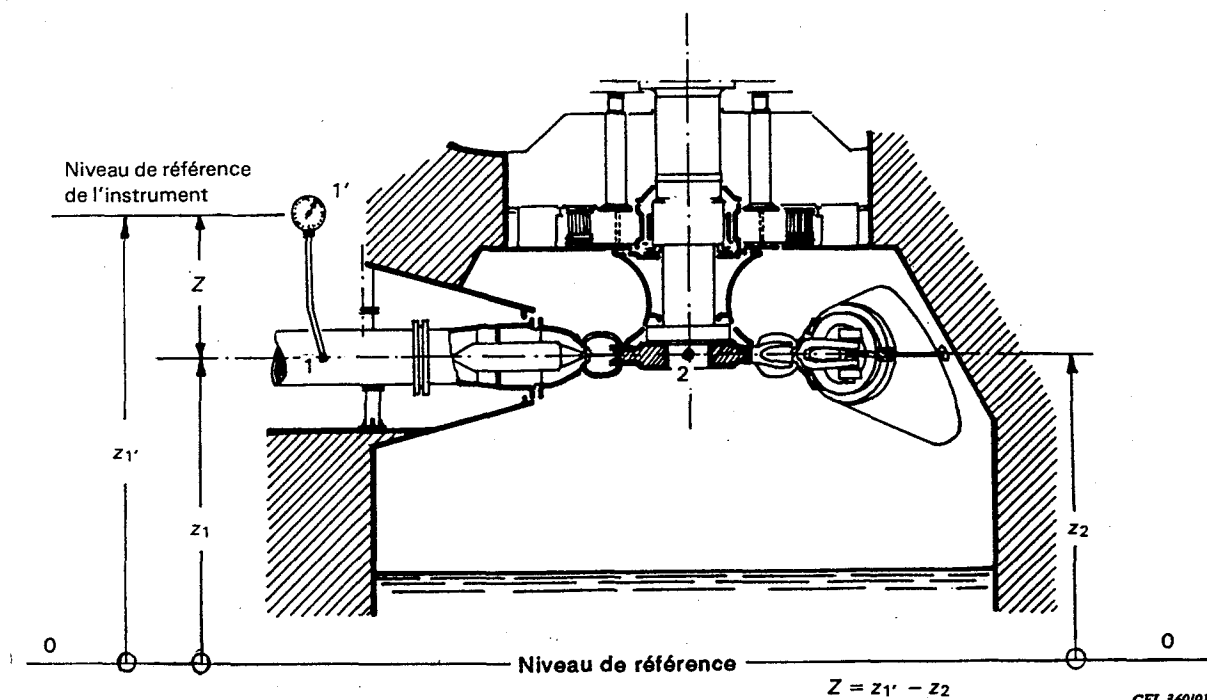


Figure 5c – Turbines Pelton à axe vertical – Détermination de l'énergie hydraulique massique de la machine

Cas d'un bâti non pressurisé.

On admet conventionnellement que la section de référence basse pression correspond au plan de cote z_2 et que, dans le cas d'un bâti non pressurisé, la pression à l'intérieur de celui-ci est égale à la pression ambiante.

$$E = \bar{g} \cdot H = \frac{(p_{abs1} - p_{abs2})}{\bar{\rho}} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g} \cdot (z_1 - z_2)$$

Z étant petit comparé à H , la différence de pression ambiante entre 1' et 2 est négligée. On a donc:

$$p_{amb1'} = p_{amb2} = p_{amb}$$

Pour la même raison, on admet que:

$$Z \cdot \frac{\rho_1}{\bar{\rho}} = Z$$

et donc:

$$p_{abs1} = p_{1'} + Z \cdot \rho_1 \cdot \bar{g} + p_{amb} \text{ où } p_{1'} \text{ est la pression effective mesurée en } 1'$$

$$p_{abs2} = p_{amb}$$

hence:

$$p_{abs1} = p_{1'} + Z_1 \cdot \rho_1 \cdot \bar{g} + p_{amb} \text{ where } p_{1'} \text{ is the gauge pressure measured at } 1'$$

$$p_{abs2} = p_{2'} + Z_2 \cdot \rho_2 \cdot \bar{g} + p_{amb} \text{ where } p_{2'} \text{ is the gauge pressure measured at } 2'$$

and therefore the simplified formula is:

$$E = \frac{(p_{1'} - p_{2'})}{\bar{\rho}} + \bar{g} \cdot (z_{1'} - z_{2'}) + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} = \frac{(p_{1'} - p_{2'})}{\bar{\rho}} + \bar{g} \cdot Z + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2}$$

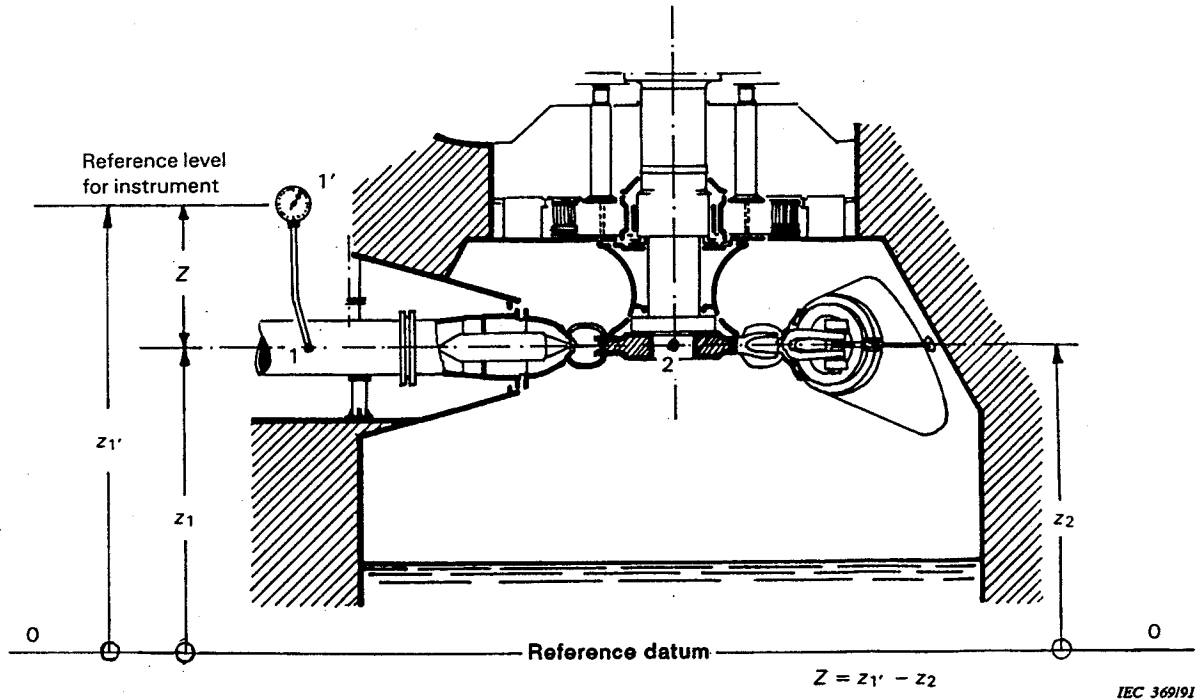


Figure 5c – Pelton turbines with vertical axis – Determination of specific hydraulic energy of machine

Case of non-pressurised housing.

It is conventionally assumed that the low pressure reference section corresponds to the plane at elevation z_2 and that the pressure inside the housing is equal to the ambient pressure in the case of non-pressurised housing.

$$E = \bar{g} \cdot H = \frac{(p_{abs1} - p_{abs2})}{\bar{\rho}} + \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{2} + \bar{g} \cdot (z_1 - z_2)$$

The difference in ambient pressure between 1' and 2 is neglected because Z is small compared to H , therefore:

$$p_{amb1'} = p_{amb2} = p_{amb}$$

For the same reason it is assumed that:

$$Z \cdot \frac{\rho_1}{\bar{\rho}} = Z$$

hence:

$$p_{abs1} = p_{1'} + Z \cdot \rho_1 \cdot \bar{g} + p_{amb} \text{ where } p_{1'} \text{ is the gauge pressure measured at } 1'$$

$$p_{abs2} = p_{amb}$$

Comme $z_1 = z_2$, et en supposant $v_2 = 0$, la formule de calcul simplifiée est:

$$E = \frac{p_1'}{\rho} + \bar{g} \cdot (z_1' - z_2) + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_1'}{\rho} + \bar{g} \cdot Z + \frac{v_1^2}{2}$$

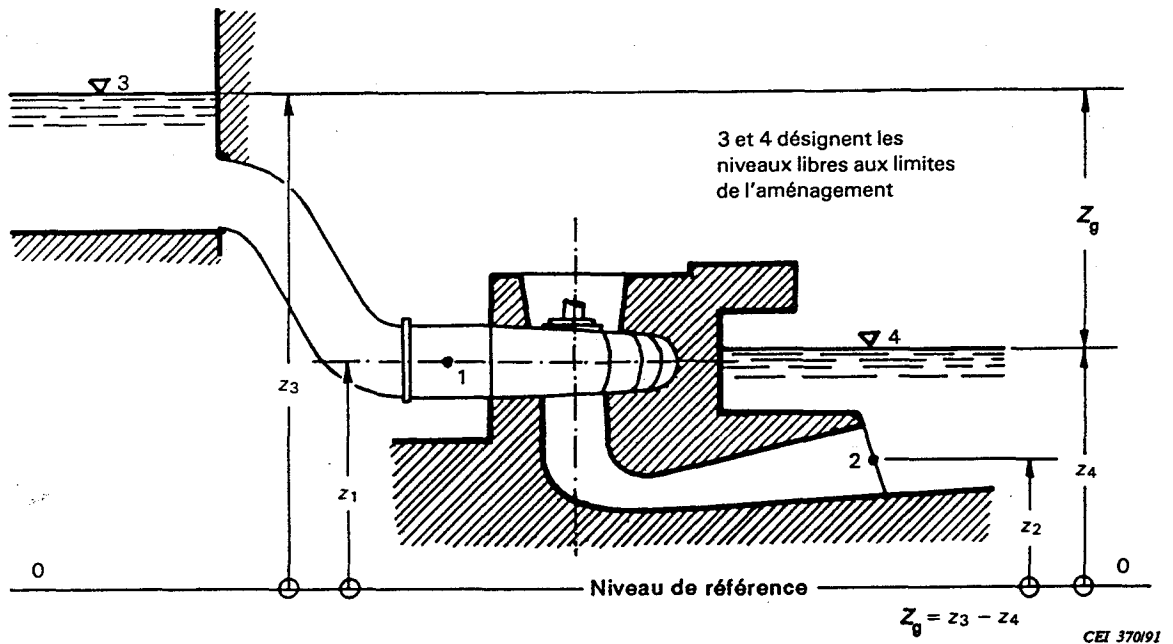


Figure 6 – Aménagement hydroélectrique – Détermination de l'énergie hydraulique massique E_g et de la hauteur brute H_g de l'aménagement à partir de la hauteur géométrique de l'aménagement Z_g

La formule générale est:

$$E_g = \bar{g}_{3-4} \cdot H_g = \frac{(p_{abs3} - p_{abs4})}{\bar{\rho}_{3-4}} + \frac{(v_3^2 - v_4^2)}{2} + \bar{g}_{3-4}(z_3 - z_4)$$

En supposant que $\bar{g}_{3-4} = \frac{g_3 + g_4}{2} = \bar{g}$,

$$p_{abs3} - p_{abs4} = -\rho_a \cdot \bar{g} \cdot (z_3 - z_4);$$

et, en supposant que $v_3 = v_4 = 0$

et que $\bar{\rho}_{3-4} = \frac{\rho_3 + \rho_4}{2} = \bar{\rho}$ masse volumique de l'eau à la pression ambiante, la formule devient:

$$E_g = \bar{g} \cdot (z_3 - z_4) \cdot \left[1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}} \right] = \bar{g} \cdot Z_g \cdot \left[1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}} \right]$$

où ρ_a est supposé égal à la masse volumique de l'air au niveau de référence de la machine.

Par ailleurs:

$$E_g = E \pm \sum E_L \quad \text{avec} \quad \begin{cases} + & \text{pour une turbine} \\ - & \text{pour une pompe} \end{cases}$$

As $z_1 = z_2$ and assuming $v_2 = 0$, the simplified formula is:

$$E = \frac{p_1'}{\bar{\rho}} + \bar{g} \cdot (z_1' - z_2) + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_1'}{\bar{\rho}} + \bar{g} \cdot Z + \frac{v_1^2}{2}$$

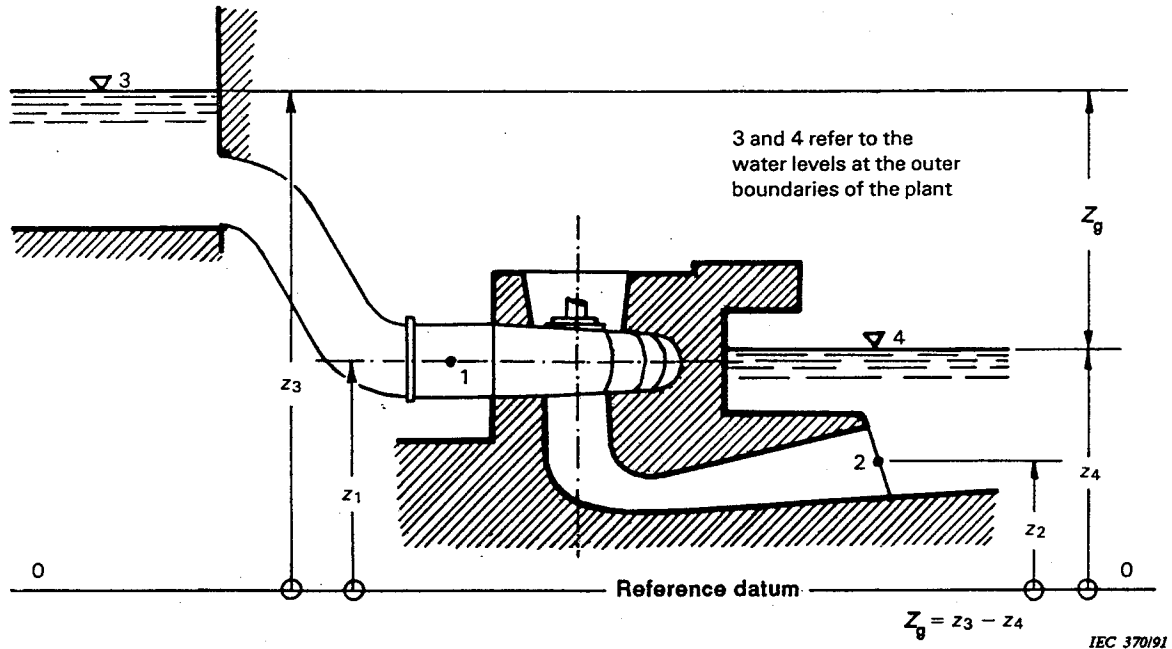


Figure 6 – Hydroelectric plant – Determination of specific hydraulic energy E_g and head H_g of plant through geodetic height of plant Z_g

The general formula is:

$$E_g = \bar{g}_{3-4} \cdot H_g = \frac{(p_{abs3} - p_{abs4})}{\bar{\rho}_{3-4}} + \frac{(v_3^2 - v_4^2)}{2} + \bar{g}_{3-4}(z_3 - z_4)$$

Assuming $\bar{g}_{3-4} = \frac{g_3 + g_4}{2} = \bar{g}$,

$$p_{abs3} - p_{abs4} = -\rho_a \cdot \bar{g} \cdot (z_3 - z_4);$$

assuming $v_3 = v_4 = 0$

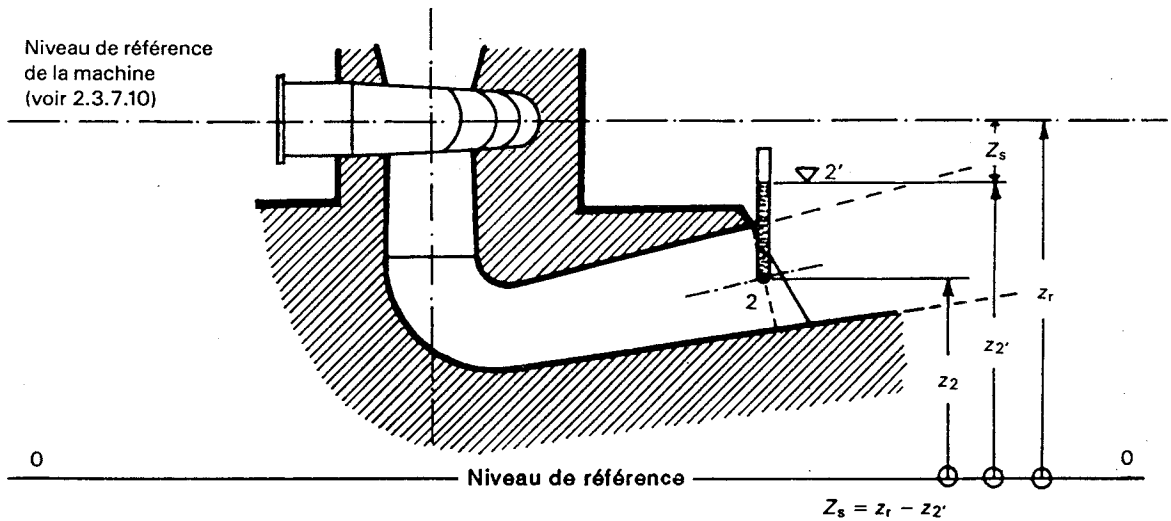
and $\bar{\rho}_{3-4} = \frac{\rho_3 + \rho_4}{2} = \bar{\rho}$ water density at the ambient pressure, the formula becomes:

$$E_g = \bar{g} \cdot (z_3 - z_4) \cdot \left[1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}} \right] = \bar{g} \cdot Z_g \cdot \left[1 - \frac{\rho_a}{\bar{\rho}} \right]$$

where ρ_a is assumed equal to air density at the reference level of the machine.

Conversely:

$$E_g = E \pm \sum E_L \quad \text{where} \quad \begin{cases} + & \text{turbine} \\ - & \text{pump} \end{cases}$$



CEI 371/91

Figure 7 – Energie massique nette à l'aspiration (NPSE) et hauteur de charge nette absolue à l'aspiration (NPSH)

On utilise au point 2 un manomètre à colonne air-eau.

$$NPSE = g_2 \cdot NPSH = \frac{(p_{abs_2} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot (z_r - z_2)$$

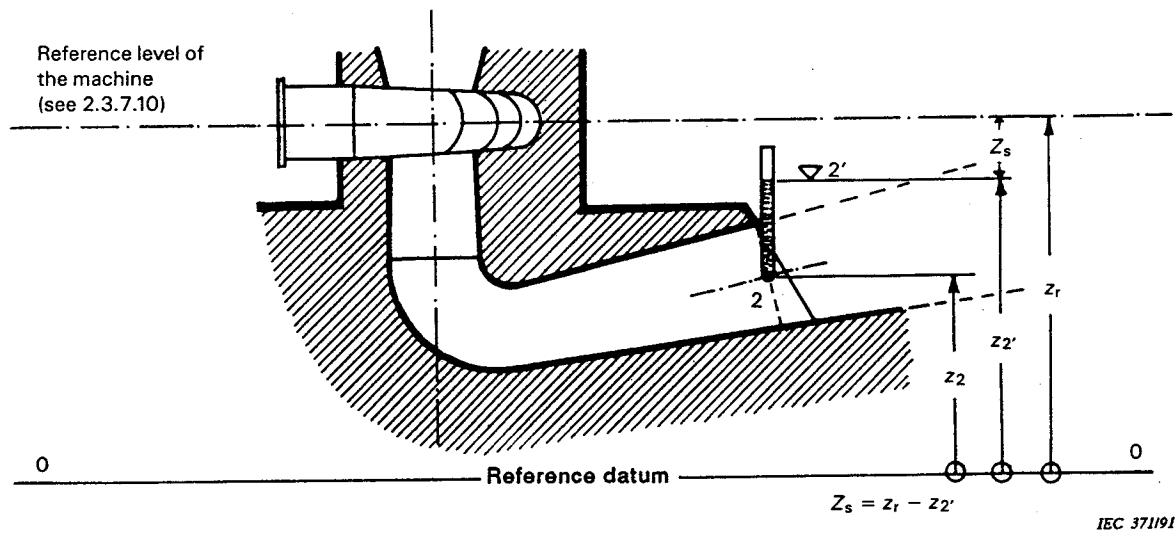
Avec:

$$p_{abs_2} = \rho_2 \cdot g_2 \cdot (z_{2'} - z_2) + p_{amb_{2'}}$$

la formule de calcul simplifiée est donc:

$$NPSE = \frac{(p_{amb_{2'}} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot (z_r - z_{2'}) = \frac{(p_{amb_{2'}} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot Z_s$$

où Z_s est positif lorsque le niveau 2' est plus bas que le niveau de référence de la machine, et inversement.



IEC 371/91

Figure 7 – Net positive suction specific energy, *NPSE*, and net positive suction head, *NPSH*

Water column manometer is applied at point 2.

$$NPSE = g_2 \cdot NPSH = \frac{(p_{abs2} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot (z_r - z_2)$$

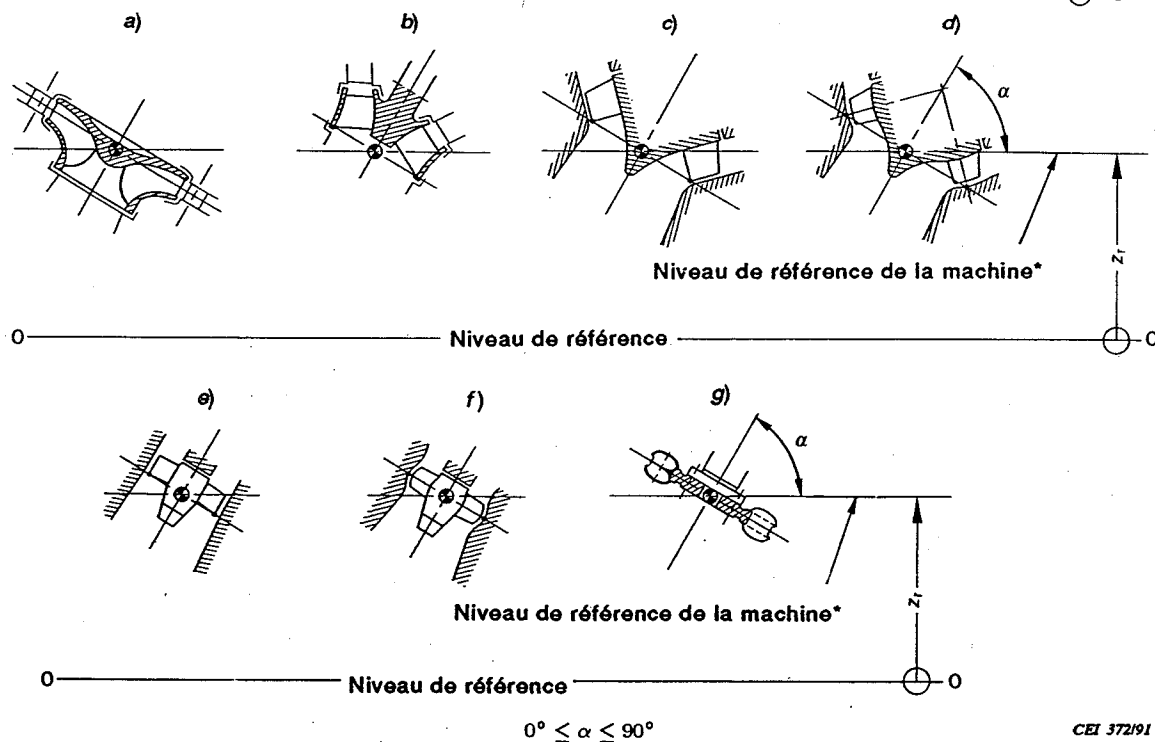
With:

$$p_{abs2} = \rho_2 \cdot g_2 \cdot (z_{2'} - z_2) + p_{amb2'}$$

the simplified formula becomes:

$$NPSE = \frac{(p_{amb2'} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot (z_r - z_{2'}) = \frac{(p_{amb2'} - p_{va})}{\rho_2} + \frac{v_2^2}{2} - g_2 \cdot Z_s$$

where Z_s is positive if the level 2' is lower than the reference level of the machine and vice versa.



- 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 tubulaires**, pompes et pompes-turbines axiales, à pales fixes.
- f) Machines axiales, telles que les turbines Kaplan, turbines tubulaires**, pompes et pompes-turbines axiales, à pales réglables.
- g) Turbines Pelton.

Figure 8 – Niveau de référence des turbines, pompes et pompes-turbines*

2.3.8 Termes relatifs à la puissance

Note. – Les termes relatifs à la puissance électrique sont définis à l'article 12.

Paragraphe	Terme	Définition	Symbole	Unité
2.3.8.1	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	W
2.3.8.2	Correction de la puissance hydraulique	Terme correctif à déterminer après une analyse adéquate basée sur les définitions contractuelles et les conditions locales*** (voir 9.2.3)	ΔP_h	W

* Le niveau de référence de la machine z_r ne correspond pas nécessairement au point de cavitation maximale.

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

*** Exemple: si un petit débit q est prélevé à l'amont de la section I d'une turbine et si cette alimentation est contractuellement imputable à la machine hydraulique, la puissance hydraulique est: $P_h = E(eQ)_1 + E(eq)$.