

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
497**

Première édition
First edition
1976

**Code international concernant les essais
de réception sur modèle réduit
des pompes d'accumulation**

**International code for model acceptance
tests of storage pumps**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 497: 1976

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} 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 littéraires

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 littéraires et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraires 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
497**

Première édition
First edition
1976

**Code international concernant les essais
de réception sur modèle réduit
des pompes d'accumulation**

**International code for model acceptance
tests of storage pumps**

© CEI 1976 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 **XB**

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	10
PRÉFACE	10
Références	10

PREMIÈRE PARTIE — RÈGLES GÉNÉRALES

INTRODUCTION	12
------------------------	----

CHAPITRE I: OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

Articles

1. Généralités	14
2. Types de pompes	14
3. Sujets exclus	14

CHAPITRE II: TERMINOLOGIE, DÉFINITIONS, SYMBOLES ET UNITÉS

4. Unités	16
5. Terminologie	16
5.1 Débit	16
5.2 Aire	18
5.3 Vitesse moyenne	18
5.4 Pression	18
5.5 Gravité et poids	18
5.6 Hauteur ou charge et énergie spécifique	20
5.7 Puissance fournie et absorbée	24
5.8 Pertes et rendement	26
5.9 Vitesse de rotation	28
5.10 Cavitation	28
5.11 Lettres majuscules en indice	28
6. Clarification	28
7. Masse volumique de l'eau	28
8. Accélération due à la gravité	30
9. Pression de vapeur de l'eau distillée	32

CHAPITRE III: NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES TECHNIQUES

10. Généralités	36
11. Garanties principales	36
11.1 Débit	36
11.2 Rendement	36
11.3 Transposition du rendement hydraulique	38
12. Autres garanties	38
12.1 Puissance maximale absorbée par la pompe	38
12.2 Hauteur totale à débit nul et puissance absorbée à débit nul	38
12.3 Vitesse d'emballlement au dévirage	40
12.4 Débit à l'emballlement au dévirage	40
13. Fonctionnement en cavitation	40

CHAPITRE IV: CONDITIONS À REMPLIR POUR LES ESSAIS

14. Installations d'essais	42
14.1 Caractéristiques de l'eau	42
14.2 Conditions d'écoulement	42
14.3 Fluctuations pendant une série de points d'essais	42
14.4 Mesure du débit	44
14.5 Débit des fuites	44
14.6 Hauteurs totales	46
14.7 Couple	46
14.8 Vitesse de rotation	46

CONTENTS

	Page
FOREWORD	11
PREFACE	11
References	11

PART 1 — GENERAL RULES

INTRODUCTION	13
------------------------	----

CHAPTER I: OBJECT AND SCOPE

Clause		
1. General		15
2. Types of pumps		15
3. Excluded topics		15

CHAPTER II: TERMS, DEFINITIONS, SYMBOLS AND UNITS

4. Units	17
5. List of terms	17
5.1 Discharge or rate of flow	17
5.2 Area	19
5.3 Mean velocity	19
5.4 Pressure	19
5.5 Gravity and weight	19
5.6 Head and specific energy	21
5.7 Output and input	25
5.8 Losses and efficiency	27
5.9 Rotational speed	29
5.10 Cavitation	29
5.11 Subscripts in capital letters	29
6. Clarification	29
7. Density of water	29
8. Acceleration due to gravity	31
9. Vapour pressure of distilled water	33

CHAPTER III: NATURE AND EXTENT OF TECHNICAL GUARANTEES

10. General	37
11. Main guarantees	37
11.1 Discharge	37
11.2 Efficiency	37
11.3 Scale-up of hydraulic efficiency	39
12. Other guarantees	39
12.1 Maximum pump input	39
12.2 Head and power absorption at zero discharge	39
12.3 Reverse runaway speed	41
12.4 Reverse runaway discharge	41
13. Performance under cavitation	41

CHAPTER IV: TEST CONDITIONS TO BE FULFILLED

14. Test plants	43
14.1 Conditions of the water	43
14.2 Flow conditions	43
14.3 Fluctuations during a test series	43
14.4 Measurement of the water discharge	45
14.5 Water leakage losses	45
14.6 Heads	47
14.7 Torque	47
14.8 Speed	47

Articles	Pages
15. Similitude du modèle réduit	46
15.1 Dimension du modèle réduit et hauteur totale d'essai	46
15.2 Similitude géométrique et hydraulique	50
15.3 Vérification de la similitude géométrique entre le modèle réduit et la machine industrielle	52
15.4 Ecart admissible de similitude géométrique entre la pompe industrielle et le modèle réduit	54
15.5 Conjugaison entre le positionnement des pales de roue et celui des directrices mobiles pour les pompes ayant des pales de roue orientables et des directrices mobiles	56

CHAPITRE V: MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS

16. Choix du laboratoire	58
17. Période des essais	58
18. Personnel	58
19. Programme des essais	58
20. Inspection	60
21. Etalonnage des instruments	60
22. Essais préliminaires	62
22.1 Exécution des essais	62
22.2 Défauts mécaniques	62
23. Comptes rendus	64
24. Répétition des essais	64

CHAPITRE VI: CALCUL DES RÉSULTATS

25. Généralités	66
25.1 Calcul des caractéristiques de fonctionnement de la machine industrielle	66
25.2 Comparaison avec le rendement garanti	66
25.3 Comparaison avec transposition du rendement sur modèle réduit	66
25.4 Comparaison avec la puissance absorbée garantie du modèle réduit	68
25.5 Comparaison avec la puissance absorbée de la machine industrielle	68
26. Incertitude de mesures	68
26.1 Généralités	68
26.2 Erreurs accidentelles et erreurs systématiques	68
27. Erreurs dans les mesures individuelles	68
27.1 Débit	70
27.2 Surface libre	70
27.3 Pression	70
27.4 Puissance absorbée	70
27.5 Temps	70
27.6 Hauteur totale d'élévation H de la pompe	70
28. Rendement de la pompe	70
29. Erreurs de mesure accidentelles	72
30. Application des formules de transposition pour effet d'échelle	72
31. Comparaison avec les garanties principales	72
31.1 Garantie de débit	72
31.2 Garantie de rendement	74
31.3 Points de mesure invalidés	74

CHAPITRE VII: RAPPORT FINAL

32. Détails du rapport final	76
--	----

DEUXIÈME PARTIE — MÉTHODES DE MESURE

CHAPITRE VIII: MÉTHODES DE MESURE DU DÉBIT

33. Généralités	78
34. Mesure des débits par jaugeage volumétrique	78
34.1 Installation	78
34.2 Vanne de vidange	80
34.3 Mesure de la cote du plan d'eau	80
34.4 Dispositif d'injection d'eau	80
34.5 Mode opératoire	80
34.6 Corrections	80
34.7 Emploi de deux réservoirs jaugés	82

Clause	Page
15. Model similitude	47
15.1 Model size and test head	47
15.2 Geometrical and hydraulic similarity	51
15.3 Checking the geometrical similarity of model and prototype pump	53
15.4 Permissible deviations in geometrical similarity between prototype and model	55
15.5 Correlation between impeller blade and guide vane setting in pumps having variable impeller blades and guide vanes	57

CHAPTER V: TEST PROCEDURE

16. Choice of laboratory	59
17. Time for tests	59
18. Personnel	59
19. Test programme	59
20. Inspection	61
21. Calibration of instruments	61
22. Preliminary tests	63
22.1 Execution of tests	63
22.2 Mechanical faults	63
23. Records	65
24. Repetition of tests	65

CHAPTER VI: COMPUTATION OF RESULTS

25. General	67
25.1 Calculations of prototype performance	67
25.2 Comparison with guaranteed efficiency	67
25.3 Comparison with scaled-up model efficiency	67
25.4 Comparison with guaranteed model input	69
25.5 Comparison with prototype input	69
26. Inaccuracies in measurements	69
26.1 General	69
26.2 Random and systematic errors	69
27. Errors in individual measurements	69
27.1 Rate of flow	71
27.2 Free level	71
27.3 Pressure	71
27.4 Input	71
27.5 Time	71
27.6 Pump head H	71
28. Pump efficiency	71
29. Random errors in measurement	73
30. Application of scale formulae	73
31. Comparison with main guarantees	73
31.1 Guarantee for discharge	73
31.2 Guarantee for efficiency	75
31.3 Invalid measured points	75

CHAPTER VII: FINAL REPORT

32. Final report details	77
------------------------------------	----

PART 2 — METHODS OF MEASUREMENT

CHAPTER VIII: METHODS OF DISCHARGE MEASUREMENT

33. General	79
34. Discharge measurements by volumetric measurement	79
34.1 Installation	79
34.2 Drain valve	81
34.3 Measurement of height of water surface	81
34.4 Method of inflow	81
34.5 Method of operation	81
34.6 Corrections	81
34.7 Use of two calibrated reservoirs	83

Articles	Pages
35. Mesure du débit par pesée	82
35.1 Réservoir d'entonnement	82
35.2 Appareils de pesée	84
35.3 Injection d'eau et mesure du temps	84
35.4 Mode opératoire	84
35.5 Précautions	84
36. Ecran mobile d'Andersson	84
36.1 Principe de la méthode	84
36.2 Installations	84
36.3 Mesure de la vitesse de translation de l'écran	86
36.4 Détermination de la section transversale du canal	86
36.5 Contrôles au cours de l'essai	86
37. Déversoirs	86
38. Appareils déprimogènes	86
39. Autres méthodes	88
CHAPITRE IX: MÉTHODES DE MESURE DES HAUTEURS	
40. Généralités	90
41. Plan d'eau libre	90
42. Appareils pour la mesure des plans d'eau libres	90
42.1 Pointes droites ou recourbées	90
42.2 Indicateurs à flotteur	90
42.3 Manomètre à liquide	90
43. Mesure de pression statique	92
43.1 Choix des sections de mesure	92
43.2 Nombre et emplacement des prises de pression	92
43.3 Prises de pression statique	92
43.4 Canalisations de raccordement	94
44. Instruments de mesure de la pression	94
44.1 Manomètres à colonne de liquide	94
44.2 Manomètre à poids	94
44.3 Balance de pression	94
44.4 Manomètres à ressort	94
45. Dispositifs d'amortissement	96
46. Contrôle de tous les manomètres	96
47. Mesure des vides	96
47.1 Généralités	96
47.2 Canalisations de raccordement sous vide	96
CHAPITRE X: MÉTHODES DE MESURE DE LA PUISSANCE ABSORBÉE	
48. Généralités	98
49. Mesure du couple	98
49.1 Dynamomètre de mesure du couple de réaction ou « couplemètre de réaction »	98
49.2 Dynamomètre de mesure du couple transmis ou « couplemètre de torsion »	98
50. Précautions pour éviter les erreurs de mesure du couple avec les dynamomètres de mesure du couple de réaction	98
50.1 Maintien du dynamomètre	98
50.2 Canalisations de fluide de refroidissement	100
50.3 Paliers supports	100
50.4 Connexions électriques	100
50.5 Etalonnage	100
51. Mesure des vitesses de rotation	100
52. Pertes	102
CHAPITRE XI: ESSAIS DE CAVITATION	
Introduction	104
53. Objet et domaine d'application	104
54. Garanties concernant l'influence de la cavitation	104
54.1 Généralités	104
54.2 Garanties concernant l'altération du rendement	104

Clause	Page
35. Gravimetric method	83
35.1 Collecting tank	83
35.2 Weighing devices	85
35.3 Switching and timing	85
35.4 Method of operation	85
35.5 Precautions	85
36. Andersson's movable screen	85
36.1 Basic principles	85
36.2 Installations	85
36.3 Measurement of the travel velocity of the screen	87
36.4 Determination of the channel cross-section	87
36.5 Controls during the run	87
37. Weirs	87
38. Differential meters	87
39. Other methods	89

CHAPTER IX: METHODS OF HEAD MEASUREMENT

40. General	91
41. Free water level	91
42. Measuring apparatus for free water level	91
42.1 Point or hook gauges	91
42.2 Float gauges	91
42.3 Liquid manometer	91
43. Static pressure measurement	93
43.1 Choice of measuring sections	93
43.2 Number and location of pressure holes	93
43.3 Static pressure holes	93
43.4 Pressure pipe connections	95
44. Pressure-measuring instruments	95
44.1 Liquid-column manometers	95
44.2 Weight manometer	95
44.3 Pressure weighbeams	95
44.4 Spring pressure gauges	95
45. Damping devices	97
46. Checking all manometers	97
47. Vacuum measurements	97
47.1 General	97
47.2 Vacuum pipe connections	97

CHAPTER X: METHODS OF POWER INPUT MEASUREMENT

48. General	99
49. Torque measurement	99
49.1 Torque reaction dynamometer	99
49.2 Torsion dynamometer	99
50. The avoidance of torque errors in torque reaction dynamometers	99
50.1 Fixing of dynamometer	99
50.2 Cooling fluid connections	101
50.3 Support bearings	101
50.4 Electrical leads	101
50.5 Calibration	101
51. Speed measurements	101
52. Losses	103

CHAPTER XI: CAVITATION TESTS

Introduction	105
53. Object and scope	105
54. Guarantees for the influence of cavitation	105
54.1 General	105
54.2 Guarantees concerning alteration of efficiency	105

Articles	Pages
54.3 Garanties concernant la vitesse d'emballlement au dévirage et/ou le débit à l'emballlement au dévirage	106
54.4 Limitation des garanties concernant la cavitation	106
54.5 Informations additionnelles n'étant pas sujettes à garantie	106
55. Installations d'essais	106
55.1 Caractéristiques générales du circuit	106
55.2 Dimensions du modèle	106
55.3 Conditions de visualisation	108
55.4 Conditions d'écoulement avant et après le modèle réduit	108
56. Caractéristiques de l'eau	108
56.1 Propriétés physiques de l'eau	108
56.2 Teneur en air	108
56.3 Température	110
57. Conditions d'essais	110
57.1 Similitude	110
57.2 Similitude hydraulique: conditions à remplir	112
57.3 Similitude géométrique	114
58. Exécution des essais de cavitation	116
58.1 Programme d'essais	116
58.2 Modalités d'essais	116
58.3 Essais d'emballlement au dévirage	116
58.4 Courbes de cavitation	118
59. Interprétation des essais	118
59.1 Interprétation des essais de cavitation sur modèle réduit	118
59.2 Incertitude de mesure	118
59.3 Tracé des courbes de cavitation	120
59.4 Méthodes d'interprétation	120
ANNEXE A — Méthodes de mesure et de définition de la configuration géométrique de la sortie de la roue des pompes centrifuges et hélico-centrifuges	124
FIGURES	126

Clause	Page
54.3 Guarantees concerning reverse runaway speed and/or runaway discharge	107
54.4 Limitation of guarantees for cavitation	107
54.5 Additional information not subject to guarantee	107
55. Test installations	107
55.1 General characteristics of the circuit	107
55.2 Model dimensions	107
55.3 Viewing conditions	109
55.4 Flow conditions in the model	109
56. Conditions of the water	109
56.1 Properties of the water	109
56.2 Air content	109
56.3 Temperature	111
57. Test conditions	111
57.1 Similitude	111
57.2 Hydraulic similitude: conditions to be fulfilled	113
57.3 Geometric similitude	115
58. Execution of the cavitation tests	117
58.1 Testing programme	117
58.2 Testing procedure	117
58.3 Reverse runaway tests	117
58.4 Cavitation curves	119
59. Interpretation of tests	119
59.1 Interpretation of cavitation model tests	119
59.2 Inaccuracies in measurements	119
59.3 Drawing of cavitation curves	121
59.4 Methods of interpretation	121
APPENDIX A — Methods of measuring and specifying impeller outlet geometry for radial and semi-axial pumps	125
FIGURES	126

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**CODE INTERNATIONAL
CONCERNANT LES ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE RÉDUIT
DES POMPES D'ACCUMULATION**

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 publication a été établie par le Comité d'Etudes N° 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Les travaux ont débuté par la création, au cours d'une réunion tenue à Interlaken en 1961, d'un Groupe de travail chargé d'étudier la question d'un code d'essais sur modèle des pompes d'accumulation. A la réunion tenue à Venise en 1963, le Groupe de travail reçut pour instruction de préparer un projet de document. Il en résulta un premier projet en 1966, suivi de la diffusion d'un deuxième et d'un troisième projets en 1968 et 1969. A la réunion tenue à Washington en 1970, il fut convenu que le Groupe de travail préparerait un texte révisé, documents 4(Bureau Central)28 et 28A, pour le soumettre à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois. Cette dernière diffusion fut faite en septembre 1971.

Lors de la réunion du Comité d'Etudes N° 4 tenue à Munich en juin 1973, des modifications rédactionnelles furent proposées pour rendre le document acceptable à tous les Comités nationaux.

Les pays suivants ont voté explicitement en faveur de la publication:

Allemagne	Finlande	Portugal
Australie	France	Royaume-Uni
Autriche	Israël	Suède
Belgique	Italie	Suisse
Canada	Japon	Tchécoslovaquie
Etats-Unis d'Amérique	Norvège	Turquie

Le Comité d'Etudes N° 4 a déjà discuté la possibilité d'étudier, après que la présente publication aura été utilisée pendant plusieurs années, la préparation d'un document révisé traitant des essais de réception conjoints des pompes et des turbines sur modèle, les turbines étant actuellement traitées dans la Publication 193 de la CEI.

Références

- Publication 193 de la CEI (1965): Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques.
Publication 193A de la CEI (1972): Premier complément à la Publication 193.
Publication 198 de la CEI (1966): Code international concernant les essais de réception sur place des pompes d'accumulation.
Recommandation ISO R 468 (1966): Rugosité de surface.
Recommandation ISO R 541 (1967): Mesure de débit des fluides au moyen de diaphragmes et de tuyères.
Recommandation ISO R 781 (1968): Mesure de débit des fluides au moyen de tubes de Venturi.
Projet de recommandation ISO 1438: Mesure du débit des liquides dans les chenaux au moyen de déversoirs en paroi mince.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INTERNATIONAL CODE
FOR MODEL ACCEPTANCE TESTS
OF STORAGE PUMPS**

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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This publication has been prepared by IEC Technical Committee No. 4, Hydraulic Turbines.

Work was initiated during a meeting held in Interlaken in 1961 by the establishment of a Working Group to consider the matter of a model storage pump test code. During the meeting held in Venice in 1963, the Working Group was instructed to proceed with the preparation of a draft document. This resulted in a first draft in 1966 and was followed by circulation of second and third drafts in 1968 and 1969. At the meeting held in Washington in 1970, it was agreed that a revised text, documents 4(Central Office)28 and 28A, should be prepared by the Working Group for submission to the National Committees for approval under the Six Months' Rule. The latter circulation was made in September 1971.

As a result of the meeting of Technical Committee No. 4 in Munich in June 1973, certain editorial amendments were proposed in order to make the document acceptable to all National Committees.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	France	Portugal
Austria	Germany	Sweden
Belgium	Israel	Switzerland
Canada	Italy	Turkey
Czechoslovakia	Japan	United Kingdom
Finland	Norway	United States of America

Technical Committee 4 has already discussed the possibility that, after this publication has been in use for several years, consideration will be given to preparing a revised document covering the acceptance testing both for model pumps and model turbines, the latter being covered by IEC Publication 193.

References

- IEC Publication 193 (1965): International Code for Model Acceptance Tests of Hydraulic Turbines.
IEC Publication 193A (1972): First supplement to Publication 193.
IEC Publication 198 (1966): International Code for the Field Acceptance Tests of Storage Pumps.
ISO Recommendation R 468 (1966): Surface Roughness.
ISO Recommendation R 541 (1967): Measurement of Fluid Flow by Means of Orifice Plates and Nozzles.
ISO Recommendation R 781 (1968): Measurement of Fluid Flow by Means of Venturi Tubes.
Draft of ISO Recommendation 1438: Liquid Flow Measurement in Open Channels using Thin Plate Weirs.

CODE INTERNATIONAL CONCERNANT LES ESSAIS DE RÉCEPTION SUR MODÈLE RÉDUIT DES POMPES D'ACCUMULATION

Première partie — Règles générales

INTRODUCTION

De façon générale, il est recommandé que la réception des pompes d'accumulation soit basée sur des essais sur place des machines industrielles exécutés conformément à la Publication 198 de la CEI: Code international concernant les essais de réception sur place des pompes d'accumulation.

Cependant, il peut arriver que les conditions requises par ce code ou que d'autres conditions sur lesquelles sont basées les garanties de fonctionnement de la machine industrielle ne puissent pas être satisfaites facilement ou de façon complète par des essais sur place. Pour ces raisons ou pour d'autres, un accord peut être conclu entre l'acheteur et le fournisseur pour que la réception d'une pompe d'accumulation industrielle soit basée en totalité ou en partie sur le fonctionnement d'une pompe en modèle réduit géométriquement semblable.

Dans de tels cas, les conditions requises pour les essais du modèle réduit et, en particulier, la mesure dans laquelle les essais du modèle réduit doivent se substituer aux essais sur place de la machine industrielle ou les compléter doivent être clairement stipulées aussitôt que possible, de préférence dans l'appel d'offres.

Même quand des dispositions ont été prises pour des essais sur place, des essais sur modèle réduit peuvent être définis par un accord supplémentaire pour le cas où les essais sur place deviendraient impossibles ou ne conviendraient pas.

Des essais sur modèles réduits peuvent être aussi utilisés pour comparer les caractéristiques de fonctionnement de plusieurs de ces modèles réduits. Si tous les essais sont exécutés en suivant le même processus général et si l'appareillage de mesure de chaque laboratoire est d'une exactitude éprouvée, cette comparaison peut être effectuée en essayant les différents modèles réduits respectivement dans différents laboratoires d'essais. Cependant, les comparaisons les plus exactes auxquelles on peut parvenir sont celles obtenues en essayant la totalité des modèles réduits, avec des méthodes identiques, dans un seul laboratoire d'essais et sur la même installation d'essais.

INTERNATIONAL CODE FOR MODEL ACCEPTANCE TESTS OF STORAGE PUMPS

Part 1 — General rules

INTRODUCTION

In general, it is recommended that the acceptance of storage pumps be based on field tests of the prototypes carried out in accordance with IEC Publication 198, International Code for the Field Acceptance Tests of Storage Pumps.

However, it may happen that the requirements of this code, or other requirements on which the guarantees of prototype performance are based, cannot be met conveniently or completely by field tests. For these or other reasons, it may be agreed between the purchaser and supplier that the acceptance of a prototype pump is to be based wholly or in part on the performance of an homologous model pump.

In such cases, the model test requirements and in particular the extent to which the model tests are to supplant or complement field tests of the prototype should be clearly established as early as possible, preferably in the enquiry specification.

Even when provisions have been made for field tests, model tests may be defined by supplementary agreement, should field tests become impossible or unsuitable.

Model tests may also be used for comparing the performances of several models. If all tests are performed in the same general way and the measuring apparatus of each laboratory is of proven accuracy, this may be done by testing the several models in different respective testing laboratories. However, the most accurate comparisons are attainable by testing all of the models by identical methods in one testing laboratory on the same test rig.

CHAPITRE I: OBJET ET DOMAINE D'APPLICATION

1. Généralités

Le but du présent code est de définir les modalités de préparation et d'exécution des essais de réception de pompes en modèle réduit en laboratoire, et de déterminer de quelle façon les résultats doivent être interprétés en ce qui concerne les caractéristiques de fonctionnement des modèles réduits et celles des machines industrielles.

2. Types de pompes

Le présent code est applicable aux pompes en modèle réduit en laboratoire (y compris les pompes-turbines lorsqu'elles fonctionnent en pompes) des types hélice, hélico-centrifuge et centrifuge.

3. Sujets exclus

3.1 Le présent code exclut tous sujets à caractère purement commercial excepté ceux intimement liés à la bonne conduite des essais de réception.

3.2 Le présent code ne concerne pas les détails de construction des pompes ni les propriétés mécaniques de leurs différentes parties, pour autant que ces détails de construction ou ces propriétés mécaniques n'affectent pas les caractéristiques de fonctionnement des modèles réduits ou la corrélation entre les caractéristiques de fonctionnement du modèle réduit et celles de la machine industrielle.

3.3 Les essais sur modèles réduits, effectués pour la recherche ou pour la comparaison des caractéristiques de fonctionnement de plusieurs modèles réduits, ne sont pas spécialement concernés par ce code, quoiqu'il soit cependant recommandé que de tels essais soient exécutés en conformité avec lui.

Withholding

CHAPTER I: OBJECT AND SCOPE

1. General

The purpose of this code is to define the provisions for and the execution of acceptance tests on laboratory model pumps, and to define the way in which the results are to be interpreted in terms of performance of the models and of the prototypes.

2. Types of pumps

This code applies to laboratory models of pumps (including pump-turbines when operating as pumps) of the axial, semi-axial and radial flow types.

3. Excluded topics

3.1 This code excludes matters of purely commercial interest except those inextricably bound up with the conduct of the acceptance tests.

3.2 This code is not concerned with the structural details of pumps nor with the mechanical properties of their components so long as these do not affect model performance or the relationship between model and prototype performances.

3.3 Model tests for research purposes or for comparing the performance of several models are not specifically dealt with in this code, although it is nevertheless recommended that such tests be performed in accordance with it.

Withholding

CHAPITRE II: TERMINOLOGIE, DÉFINITIONS, SYMBOLES ET UNITÉS

4. Unités

Le Système international d'unités (S.I.), basé sur la longueur (avec comme unité le mètre, m), la masse (avec comme unité le kilogramme, kg) et le temps (avec comme unité la seconde, s), est adopté dans tout le code. Les unités équivalentes respectives dans le système pied-livre-seconde ont été ajoutées entre parenthèses également dans tout le code.

Les grandeurs suivantes: hauteur totale, débit en poids et poids volumique sont toutes basées sur le concept de poids ou de force. Par conséquent, elles sont appropriées quand un système d'unités basé sur la gravité est utilisé, mais elles ne le sont pas pour l'utilisation du système S.I. ou de tout autre système basé sur la masse. Actuellement, dans l'industrie hydraulique le terme « hauteur » est utilisé comme mode d'indication de la quantité d'énergie possédée par l'eau. Les unités de hauteur sont le mètre (pied) de fluide ou le joule par newton, J/N, (pied·livre force/livre poids), c'est-à-dire l'énergie par unité de poids, expression où l'unité de poids est fonction de g , accélération due à la gravité. Donc, en principe, chaque fois que les unités S.I. sont employées, il est recommandé d'utiliser les grandeurs basées sur la masse, car elles sont indépendantes de la valeur de g . Le terme largement répandu de « hauteur » devrait, pour être logique, être remplacé par celui d'« énergie spécifique », c'est-à-dire l'énergie par unité de masse qui a les dimensions m^2/s^2 (ft^2/s^2) ou J/kg (pied·livre force/livre). Il est à noter que l'équation de Bernoulli peut être exprimée en termes d'énergie spécifique si l'on multiplie tous ses membres par g , ainsi:

$$\text{— différence de hauteur} = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

$$\text{— différence d'énergie spécifique} = g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

C'est pourquoi, même en utilisant l'énergie spécifique, l'un des termes $g(z_2 - z_1)$ — qui est le terme représentant essentiellement l'énergie potentielle utilisée dans la pratique hydro-électrique — dépend encore de la valeur de g . Ce code continue pour cela d'utiliser la « hauteur » comme mode d'indication de la quantité d'énergie contenue dans le fluide à cause de l'usage très répandu de ce terme et de la facilité avec laquelle il peut être représenté graphiquement. Cependant, par souci de cohérence avec le système S.I., les équivalents des « hauteurs » en énergie spécifique (voir les paragraphes 5.6.1.1 à 5.6.5.1) ont été indiqués et peuvent être utilisés par ceux qui le préfèrent.

5. Terminologie

Les termes, définitions, symboles et unités adoptés dans ce code sont récapitulés dans les tableaux ci-après:

Terme		Définition	Symbole	Unité
5.1	Débit	Volume d'eau passant en une seconde dans une section spécifiée.		m^3/s (ft^3/s) *
5.1.1	Débit de la pompe	Débit total traversant la section de sortie de la pompe, c'est-à-dire excluant la fuite des presse-étoupe et le débit des tuyaux d'équilibrage (voir le paragraphe 5.1.6).	Q	m^3/s (ft^3/s)
5.1.2	Débit garanti de la pompe	Débit que la pompe doit fournir à la hauteur totale d'élévation de garantie et à la vitesse de rotation de garantie.	Q_r	m^3/s (ft^3/s)
5.1.3	Débit de la pompe à l'entrée	Débit mesuré à la section d'entrée.	Q_1	m^3/s (ft^3/s)
5.1.4	Débit minimal de la pompe	Le plus petit débit pompé admissible à la vitesse de rotation de garantie.	Q_{min}	m^3/s (ft^3/s)

* 1 ft = 1 pied (pied du Royaume-Uni) = 0,3048 m.

CHAPTER II: TERMS, DEFINITIONS, SYMBOLS AND UNITS

4. Units

The International System of Units (S.I.) is adopted throughout the code, based on length (metre, m), mass (kilogram, kg) and time (second, s). The foot-pound-second system equivalents have been added in parentheses throughout the code.

The following quantities: total head, weight-rate of flow and weight density, are all based on the concept of weight or force. Consequently, they are appropriate when a gravitational system of units is employed, but inappropriate when using the S.I. system or any other which is mass-based. At present, in the hydraulic industry the term “head” is used as an index of energy possessed by the water. The units of head are in metres (feet) of fluid or joule per newton, J/N, (ft·lbf/lb weight), i.e. energy/unit weight, where the unit weight is a function of g , the acceleration due to gravity. In principle, therefore, whenever S.I. units are employed, it is recommended that mass-based quantities should be used as they are independent of the value of g . The widely used term “head” should, to be consistent, be replaced by “specific energy”, i.e. energy per unit mass which has the dimensions m^2/s^2 (ft^2/s^2) or J/kg (ft·lbf/lb). It should be noted that Bernoulli’s equation can be expressed in terms of specific energy if it is multiplied throughout by g , thus:

$$\text{— head difference} = z_2 - z_1 + \frac{p_2 - p_1}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$$

$$\text{— specific energy difference} = g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2}$$

Therefore, even when using specific energy one of the terms $g(z_2 - z_1)$ —the essentially potential energy term employed in hydroelectric practice—still depends on the value of g . This code therefore continues to use “head” as an index of fluid energy content because of the wide usage of this term and the ease with which it can be represented diagrammatically. However, for consistency with the S.I. system, the specific energy equivalents to head (see Sub-clauses 5.6.1.1 to 5.6.5.1) have been listed and can be used by those who prefer to do so.

5. List of terms

The terms, definitions, symbols and units adopted in this code are listed in the tables below:

	Term	Definition	Symbol	Units
5.1	<i>Discharge or rate of flow</i>	Volume of water per second passing a specified section.		m^3/s (ft^3/s) *
5.1.1	Pump discharge	Total discharge passing through the outlet section of the pump, i.e. excluding leakage from shaft seals and flow through thrust relief pipes (see Sub-clause 5.1.6).	Q	m^3/s (ft^3/s)
5.1.2	Guaranteed pump discharge	Discharge which pump must produce at specified head and rated speed.	Q_r	m^3/s (ft^3/s)
5.1.3	Pump discharge at inlet	Discharge measured at inlet section.	Q_1	m^3/s (ft^3/s)
5.1.4	Minimum pump discharge	Smallest permissible pump discharge at rated speed.	$Q_{\min}$	m^3/s (ft^3/s)

* 1 ft (foot United Kingdom) = 0.3048 m.

Terme		Définition	Symbole	Unité
5.1.5	Débit maximal de la pompe	Le plus grand débit pompé admissible à la vitesse de rotation de garantie.	$Q_{\max}$	m^3/s (ft^3/s)
5.1.6	Débit de fuite externe	Débit de fuite dû aux presse-étoupe et aux tuyaux d'équilibrage.	q'	m^3/s (ft^3/s)
5.1.7	Débit de fuite interne	Débit de fuite aux travers des interstices des bagues d'étanchéité de la roue, c'est-à-dire la partie du débit qui traverse les passages entre les aubes de la roue et qui ne sort pas de la pompe soit dans Q soit dans q' .	q''	m^3/s (ft^3/s)
5.1.8	Débit de fuite total	Le débit correspondant à la somme du débit de fuite interne et du débit de fuite externe $q = q' + q''$	q	m^3/s (ft^3/s)
5.2	Aire	Aire de la section transversale normale à la direction générale de l'écoulement.	A	m^2 (ft^2)
5.2.1	Aire de la section d'entrée	Aire de la section convenue d'un commun accord à proximité de l'extrémité d'entrée de la tubulure d'aspiration où la pression et la hauteur dynamique à l'entrée de la pompe doivent être mesurées.	A_1	m^2 (ft^2)
5.2.2	Aire de la section de sortie	Aire de la section convenue d'un commun accord à proximité de la sortie de la pompe où la pression et la hauteur dynamique à la sortie de la pompe doivent être mesurées.	A_2	m^2 (ft^2)
5.3	Vitesse moyenne	Débit par unité d'aire de section de passage $v = \frac{Q}{A}$	v	m/s (ft/s)
5.3.1	Vitesse moyenne à l'entrée	Débit divisé par l'aire de la section d'entrée $v_1 = \frac{Q_1}{A_1}$	v_1	m/s (ft/s)
5.3.2	Vitesse moyenne à la sortie	Débit divisé par l'aire de la section de sortie $v_2 = \frac{Q_2}{A_2}$	v_2	m/s (ft/s)
5.4	Pression	Pression en un point quelconque du circuit hydraulique exprimée en force par unité de surface.	p	N/m^2 * (lbf/in^2) **
5.4.1	Pression manométrique	Indication donnée par un appareil de mesure de la pression effective ¹⁾ en un point quelconque du circuit hydraulique.	p_g	N/m^2 (lbf/in^2)
5.4.2	Pression à l'entrée de la pompe	Pression manométrique au point de mesure à l'entrée, corrigée de la différence d'altitude entre l'appareil de mesure et ce point.	p_1	N/m^2 (lbf/in^2)
5.4.3	Pression à la sortie de la pompe	Pression manométrique au point de mesure à la sortie, corrigée de la différence d'altitude entre l'appareil de mesure et ce point.	p_2	N/m^2 (lbf/in^2)
5.5	Gravité et poids			
5.5.1	Gravité	Accélération due à la pesanteur au lieu de l'essai (voir le tableau II, article 8, chapitre II).	g	m/s^2 (ft/s^2)
5.5.2	Masse volumique de l'eau pompée	Masse de l'unité de volume de l'eau pompée.	ρ	kg/m^3 (lb/ft^3)
5.5.3	Masse volumique de l'air	Masse de l'unité de volume de l'air ambiant.	ρ_A	kg/m^3 (lb/ft^3)

* On peut aussi utiliser le bar comme unité de pression, où 1 bar = 10^5 N/m^2 .

** 1 lbf (livre force du Royaume-Uni) = 4,448 newtons (N).

¹⁾ Pression comptée au-dessus de la pression atmosphérique.

Term		Definition	Symbol	Units
5.1.5	Maximum pump discharge	Largest permissible pump discharge at rated speed.	$Q_{\max}$	m^3/s (ft^3/s)
5.1.6	External leakage flowrate	Leakage flowrate due to shaft seals and thrust relief pipes.	q'	m^3/s (ft^3/s)
5.1.7	Internal leakage flowrate	Leakage flowrate through impeller seal clearances, that is to say that part of the flow which passes through the impeller blade passages and which does not go out of the pump in either Q or q' .	q''	m^3/s (ft^3/s)
5.1.8	Total leakage flowrate	The flowrate corresponding to the sum of the internal and external leakage flowrates $q = q' + q''$	q	m^3/s (ft^3/s)
5.2	Area	Cross-sectional area normal to general direction of flow.	A	m^2 (ft^2)
5.2.1	Area of pump inlet	Area of agreed section near inlet end of suction tube where pressure and velocity head at pump inlet are to be measured.	A_1	m^2 (ft^2)
5.2.2	Area of pump outlet	Area of agreed section near outlet of pump where pressure and velocity head at pump outlet are to be measured.	A_2	m^2 (ft^2)
5.3	Mean velocity	Rate of flow per unit area $v = \frac{Q}{A}$	v	m/s (ft/s)
5.3.1	Mean velocity at inlet	Rate of flow divided by area of pump inlet $v_1 = \frac{Q_1}{A_1}$	v_1	m/s (ft/s)
5.3.2	Mean velocity at outlet	Rate of flow divided by area of pump outlet $v_2 = \frac{Q_2}{A_2}$	v_2	m/s (ft/s)
5.4	Pressure	Pressure at any point in the system expressed as force per unit area.	p	N/m^2 * (lbf/in^2) **
5.4.1	Gauge pressure	Reading given by a gauge of the pressure above atmospheric pressure at any point in the system.	p_g	N/m^2 (lbf/in^2)
5.4.2	Pressure at pump inlet	Gauge pressure at inlet measuring point adjusted for the elevation of the gauge.	p_1	N/m^2 (lbf/in^2)
5.4.3	Pressure at pump outlet	Gauge pressure at outlet measuring point adjusted for the elevation of the gauge.	p_2	N/m^2 (lbf/in^2)
5.5	Gravity and weight			
5.5.1	Gravity	Acceleration due to gravity at the place of testing (see Table II, Clause 8, Chapter II).	g	m/s^2 (ft/s^2)
5.5.2	Density of pumped water	Mass of unit volume of the pumped water.	ρ	kg/m^3 (lb/ft^3)
5.5.3	Density of ambient air	Mass of unit volume of ambient air.	ρ_A	kg/m^3 (lb/ft^3)

* One can also use the bar as a unit of pressure, where 1 bar = 10^5 N/m².

** 1 lbf (pound force United Kingdom) = 4.448 newtons (N).

Terme		Définition	Symbole	Unité
5.5.4	Poids volumique ¹⁾ apparent de l'eau	Poids apparent dans l'air de l'unité de volume de l'eau pompée $\gamma' = (\rho - \rho_A) g$	γ'	N/m ³ (lbf/ft ³)
5.5.5	Poids volumique de l'eau	Poids de l'unité de volume de l'eau pompée $\gamma = \rho g$	γ	N/m ³ (lbf/ft ³)
5.6	<i>Hauteur ou charge et énergie spécifique</i>	La charge ou « hauteur » représente l'énergie par unité de masse du fluide et l'énergie spécifique est l'énergie par unité de masse.	h e	m (ft) J/kg
5.6.1.1	Hauteur manométrique (ou charge de pression)	Hauteur d'eau qui est équivalente à la pression manométrique en un point quelconque du circuit hydraulique $h_p = a + p_g/\gamma$ avec a tel que défini au paragraphe 5.6.9. Quand la hauteur manométrique h_p en un point est négative, sa valeur absolue est la valeur du vide en ce point.	h_p	m (ft)
5.6.1.2	Enthalpie spécifique relative	Somme de l'énergie spécifique élastique et de l'énergie spécifique interne à une température donnée et à une pression donnée (correspond à la hauteur manométrique du paragraphe 5.6.1.1) $e_p = g h_p$	e_p	J/kg (ft·lbf/lb) ou m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.2.1	Hauteur dynamique (ou charge due à la vitesse)	Hauteur due à la pression dynamique de l'eau qui est équivalente au carré de la vitesse moyenne divisé par deux fois l'accélération de la pesanteur $h_v = \frac{v^2}{2g}$	h_v	m (ft)
5.6.2.2	Energie cinétique spécifique	Moitié du carré de la vitesse moyenne de l'eau (correspond à la hauteur dynamique du paragraphe 5.6.2.1) $e_v = \frac{v^2}{2} = g h_v$	e_v	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.3.1	Hauteur potentielle (ou charge de position)	Altitude d'un point de mesure au-dessus d'un niveau de référence.	z	m (ft)
5.6.3.2	Energie potentielle spécifique	Produit de l'altitude d'un point au-dessus d'un niveau de référence par la valeur de l'accélération de la pesanteur en ce point ²⁾ (correspond à la hauteur potentielle du paragraphe 5.6.3.1) $e_z = g \cdot z$	e_z	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.4.1	Hauteur totale (ou charge énergétique totale)	Somme de la hauteur manométrique, de la hauteur dynamique et de la hauteur potentielle en un point donné $h_t = h_p + h_v + z$	h_t	m (ft)
5.6.4.2	Enthalpie spécifique totale	Energie contenue dans l'unité de masse de l'eau. Somme de l'enthalpie spécifique relative, de l'énergie cinétique spécifique et de l'énergie potentielle spécifique (correspond au paragraphe 5.6.4.1) $e_t = e_p + e_v + e_z = g h_t$	e_t	J/kg (ft·lbf/lb)

¹⁾ Dans les circuits d'essai « ouverts », où il existe un plan d'eau à surface libre au-dessus et en dessous du modèle réduit, γ' est utilisé au lieu de γ dans la relation pour h_p donnée au paragraphe 5.6.1.1. Pour des hauteurs supérieures à 200 m, il est nécessaire de tenir compte de la compressibilité de l'eau par le remplacement de γ par: $\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$, γ_1 et γ_2 étant les valeurs de γ , respectivement dans la section d'entrée et dans la section de sortie.

²⁾ Pour les besoins de ce code, les variations locales de g en fonction de z peuvent être considérées comme négligeables.

Term		Definition	Symbol	Units
5.5.4	Apparent weight ¹⁾ density of water	Apparent weight in air of unit volume of the pumped water $\gamma' = (\rho - \rho_A) g$	γ'	N/m ³ (lbf/ft ³)
5.5.5	Weight density of water	Weight of unit volume of the pumped water $\gamma = \rho g$	γ	N/m ³ (lbf/ft ³)
5.6	Head and specific energy	Head represents energy per unit weight of fluid and specific energy is energy per unit mass.	h e	m (ft) J/kg
5.6.1.1	Gauge pressure head	Head of water equivalent to the gauge pressure at any point in the system $h_p = a + p_g/\gamma$ where a is as in Sub-clause 5.6.9. When the gauge pressure head h_p at a point is negative, its absolute value is the vacuum value at this point.	h_p	m (ft)
5.6.1.2	Specific relative enthalpy	Sum of the specific elastic energy and the specific internal energy at a given temperature and pressure (corresponds to pressure head of Sub-clause 5.6.1.1) $e_p = g h_p$	e_p	J/kg (ft·lbf/lb) or m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.2.1	Velocity head	Dynamic pressure head of water equivalent to the square of the mean velocity divided by twice the acceleration of gravity $h_v = \frac{v^2}{2g}$	h_v	m (ft)
5.6.2.2	Specific kinetic energy	Half of the square of the mean water velocity (corresponds to velocity head of Sub-clause 5.6.2.1) $e_v = \frac{v^2}{2} = g h_v$	e_v	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.3.1	Potential head	Elevation of a measuring point relative to a given datum.	z	m (ft)
5.6.3.2	Specific potential energy	Product of the elevation of a point relative to a given reference level and the local acceleration of gravity ²⁾ (corresponds to potential head of Sub-clause 5.6.3.1) $e_z = g \cdot z$	e_z	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.4.1	Total head	Sum of pressure head, velocity head and potential head at a given point $h_t = h_p + h_v + z$	h_t	m (ft)
5.6.4.2	Specific total enthalpy	Energy content per unit mass of water. Sum of the specific relative enthalpy, the specific kinetic energy and the specific potential energy (corresponds to Sub-clause 5.6.4.1) $e_t = e_p + e_v + e_z = g h_t$	e_t	J/kg (ft·lbf/lb)

¹⁾ In "open" test circuits, where there is a free water surface above and below the model, γ' is used instead of γ in the relation for h_p in Sub-clause 5.6.1.1. For heads over 200 m, it is necessary to allow for compressibility of water by replacing γ by: $\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$, where γ_1 and γ_2 are the values of γ at the pump inlet and pump outlet, respectively.

²⁾ For the purpose of this code, local variations of g versus z can be regarded as negligible.

Terme	Définition	Symbole	Unité
5.6.5.1 Hauteur totale d'élévation de la pompe (ou gain de charge totale de la pompe)	Hauteur totale produite par la pompe, c'est-à-dire différence entre la hauteur totale à la sortie (ou charge énergétique totale à la sortie) et la hauteur totale à l'entrée (ou charge énergétique totale à l'entrée) $H = h_{t2} - h_{t1}$ (Voir les figures 1, 2 et 3, pages 126 et 127.) ainsi: $H = (z_2 + h_{p2} + h_{v2}) - (z_1 + h_{p1} + h_{v1})$ ou bien, dans le cas de la figure 3, $H = (z_2 + a_2) - (z_1 + a_1) + \frac{(p_{g2} - p_{g1})}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$	H	m (ft)
5.6.5.2 Enthalpie totale ajoutée par la pompe	Différence entre l'enthalpie spécifique totale à la sortie et à l'entrée de la pompe (correspond au paragraphe 5.6.5.1) $E = (e_{t2} - e_{t1}) = g \cdot H^*$ $= e_{z2} - e_{z1} + e_{v2} - e_{v1} + (e_{p2} - e_{p1})_{is}$	E	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.6.1 Hauteur totale de garantie	Hauteur totale d'élévation de la pompe à la vitesse de rotation de garantie et/ou au débit spécifié, pour lesquels la pompe est commandée.	H_g	m (ft)
5.6.6.2 Enthalpie totale ajoutée de garantie	Enthalpie totale spécifique ajoutée correspondant au paragraphe 5.6.6.1 $E_g = g H_g$	E_g	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.7.1 Hauteur totale d'élévation à débit nul	Hauteur totale de la pompe à la vitesse de rotation de garantie avec le refoulement obturé, c'est-à-dire quand $Q = 0$ pour la disposition spécifiée des directrices mobiles et des aubes de la roue.	H_0	m (ft)
5.6.7.2 Enthalpie totale ajoutée par la pompe à débit nul	Enthalpie totale spécifique ajoutée correspondant au paragraphe 5.6.7.1 $E_0 = g H_0$	E_0	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.8.1 Perte de charge	Diminution de la charge énergétique totale (paragraphe 5.6.4.1) entre deux sections quelconques.	H_L	m (ft)
5.6.8.2 Perte d'énergie spécifique	Perte d'énergie spécifique correspondant au paragraphe 5.6.8.1 $E_L = g H_L$	E_L	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.9 Position de l'instrument de mesure	Altitude du repère d'étalonnage de l'instrument de mesure par rapport à la position du point de mesure.	a	m (ft)
5.6.10.1 Hauteur barométrique (ou charge barométrique)	Pression barométrique exprimée en hauteur d'une colonne d'eau à la température de l'eau pompée.	h_b	m (ft)
5.6.10.2 Energie spécifique barométrique	Energie spécifique correspondant au paragraphe 5.6.10.1 $e_b = g h_b$	e_b	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.11.1 Hauteur due à la pression de vapeur	Hauteur d'une colonne d'eau à la température de l'eau pompée équivalant à la pression de vapeur de l'eau pompée (voir le tableau III, article 9, chapitre II).	h_{va}	m (ft)
5.6.11.2 Energie spécifique correspondant à la pression de vapeur	Energie spécifique correspondant au paragraphe 5.6.11.1 $e_{va} = g h_{va}$	e_{va}	m ² /s ² (ft ² /s ²)

* Dans ce code, on peut approximativement écrire que:

$$(e_{p2} - e_{p1})_{is} = B_1 (p_2 - p_1) \approx B_2 (p_2 - p_1)$$

où B_1 est une fonction et B_2 une constante approximative obtenues à partir de données thermodynamiques et où $(e_{p2} - e_{p1})$ est l'accroissement d'enthalpie spécifique de l'eau lors d'une compression isentropique entre les pressions p_1 et p_2 .

Term	Definition	Symbol	Units
5.6.5.1 Pump head	Total head produced by the pump, i.e. difference between total head at outlet and total head at inlet $H = h_{t2} - h_{t1}$ (See Figures 1, 2 and 3, pages 126 and 127.) thus: $H = (z_2 + h_{p2} + h_{v2}) - (z_1 + h_{p1} + h_{v1})$ or else, corresponding to Figure 3, $H = (z_2 + a_2) - (z_1 + a_1) + \frac{(p_{g2} - p_{g1})}{\rho g} + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g}$	H	m (ft)
5.6.5.2 Pump total enthalpy rise	Difference between the specific total enthalpy at the outlet and at the inlet of the pump (corresponds to Sub-clause 5.6.5.1) $E = (e_{t2} - e_{t1}) = g \cdot H^*$ $= e_{z2} - e_{z1} + e_{v2} - e_{v1} + (e_{p2} - e_{p1})_{is}$	E	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.6.1 Rated pump head	Total head at rated speed and/or specified discharge for which pump is ordered.	H_r	m (ft)
5.6.6.2 Rated total enthalpy rise	Specific total enthalpy rise corresponding to Sub-clause 5.6.6.1 $E_r = g H_r$	E_r	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.7.1 Zero discharge pump head	Pump head at rated speed with outlet shut off, i.e. when $Q = 0$ for specified guide vane and impeller blade setting.	H_0	m (ft)
5.6.7.2 Zero discharge pump specific total enthalpy rise	Specific total enthalpy rise corresponding to Sub-clause 5.6.7.1 $E_0 = g H_0$	E_0	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.8.1 Loss of head	Loss of total head (Sub-clause 5.6.4.1) between any two sections.	H_L	m (ft)
5.6.8.2 Loss of specific energy	Loss of specific energy corresponding to Sub-clause 5.6.8.1 $E_L = g H_L$	E_L	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.9 Height of measuring instrument	Elevation for which measuring instrument is calibrated above location of measuring point.	a	m (ft)
5.6.10.1 Barometric head	Barometric pressure expressed as a head of water at the pumped water temperature.	h_b	m (ft)
5.6.10.2 Barometric specific energy	Specific energy corresponding to Sub-clause 5.6.10.1 $e_b = g h_b$	e_b	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.11.1 Vapour pressure head	Vapour pressure expressed as a head of water at the pumped water temperature (see Table III, Clause 9, Chapter II).	h_{va}	m (ft)
5.6.11.2 Vapour pressure specific energy	Specific energy corresponding to Sub-clause 5.6.11.1 $e_{va} = g h_{va}$	e_{va}	m ² /s ² (ft ² /s ²)

* In this code, one can write approximately that:

$$(e_{p2} - e_{p1})_{is} = B_1(p_2 - p_1) \approx B_2(p_2 - p_1)$$

where B_1 is a function and B_2 an approximated constant obtained from thermodynamic data and where $(e_{p2} - e_{p1})$ is the increase in specific enthalpy of the water for an isentropic compression between p_1 and p_2 .

Terme	Définition	Symbole	Unité
5.6.12.1 Hauteur géométrique d'aspiration	Hauteur h_s du point de référence de la roue du 1^{er} étage de pression, suivant la figure 4, page 127, au-dessus de la surface du plan d'eau à l'entrée de la pompe. Si, comme cela est le cas dans de nombreuses installations d'essai, ce plan d'eau n'existe pas, h_s est alors égal à la somme, changée de signe, de la hauteur totale à l'entrée de la pompe comptée par rapport au niveau de référence (figure 4) et de la perte de charge H_{LS} entre l'endroit où la surface du plan d'eau devrait normalement être située et la section d'entrée de la pompe $h_s = -(h_{p1} + h_{v1} + H_{LS})$ (pour que h_s soit positif, il faut que h_{p1} soit négatif, c'est-à-dire que la section d'entrée soit sous vide (voir le paragraphe 5.6.1.1)) au niveau de référence (figure 4) et que la valeur de ce vide soit supérieure à la somme de $h_{v1} + H_{LS}$. Dans le cas du modèle réduit, H_{LS} peut être assez petit pour être négligé.	h_s	m (ft)
5.6.12.2 Energie spécifique correspondant à la hauteur d'aspiration	Energie spécifique correspondant au paragraphe 5.6.12.1 $e_s = g \cdot h_s$	e_s	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.13.1 Charge nette positive à l'aspiration (NPSH)	Hauteur totale absolue à l'entrée de la pompe par rapport au niveau de référence suivant la figure 4, diminuée de la hauteur due à la pression de vapeur $\text{NPSH} = h_b + h_{p1} + h_{v1} - h_{va}$ $= h_b - h_{va} - h_s - H_{LS}$ où H_{LS} est la perte de charge définie au paragraphe 5.6.12.1.	NPSH	m (ft)
5.6.13.2 Energie spécifique nette positive à l'aspiration	Energie spécifique correspondant au paragraphe 5.6.13.1 $E_H = g (\text{NPSH})$	E_H	m ² /s ² (ft ² /s ²)
5.6.14.1 Hauteur totale maximale spécifiée	Hauteur totale maximale en régime permanent et à la vitesse de rotation de garantie.	$H_{\max}$	m (ft)
5.6.14.2 Enthalpie totale maximale ajoutée par la pompe	Enthalpie totale maximale ajoutée par la pompe, en régime permanent et à la vitesse de rotation de garantie (correspond au paragraphe 5.6.14.1).	$E_{\max}$	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.15.1 Hauteur totale minimale spécifiée	Hauteur totale minimale en régime permanent et à la vitesse de rotation de garantie.	$H_{\min}$	m (ft)
5.6.15.2 Enthalpie totale minimale ajoutée par la pompe	Enthalpie totale minimale ajoutée par la pompe, en régime permanent et à la vitesse de rotation de garantie (correspond au paragraphe 5.6.15.1).	$E_{\min}$	J/kg (ft·lbf/lb)
5.7 <i>Puissance fournie et absorbée</i>			
5.7.1 Puissance fournie par la pompe (puissance en eau montée)	Puissance hydraulique communiquée à l'eau refoulée par la pompe $P_h = \rho g QH \cdot 10^{-3} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Système} \\ \text{international} \end{array} \right.$ ou $P_h = \rho Q E \cdot 10^{-3} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{d'unités (S.I.)} \end{array} \right.$ ($P_h = 0,001\,356 \gamma QH$ dans le système pied-livre-seconde)	P_h	kW
5.7.2 Puissance absorbée par la pompe	Puissance mécanique fournie à la pompe y compris toutes les pertes dans les paliers et les garnitures de sortie d'arbre dues à la pompe.	P	kW
5.7.3 Pertes mécaniques	Pertes de puissance mécanique absorbées par les paliers et les garnitures de sortie d'arbre.	P_m	kW
5.7.4 Puissance absorbée par le rotor interne	Puissance mécanique fournie au rotor interne $P' = P - P_m$	P'	kW

Term	Definition	Symbol	Units
5.6.12.1	Geodetic suction head Head h_s of the reference point of the first stage impeller according to Figure 4, page 127, above the free water surface of the inlet side of the pump. If, as in the case of many test installations, there is no free water surface, h_s is then equal to the sum, with the sign changed, of the total head at inlet to the pump, making allowance for the reference level (Figure 4), and of the head loss H_{LS} between where the free water surface would normally be and the pump inlet reference point $h_s = -(h_{p1} + h_{v1} + H_{LS})$ (in order that h_s be positive, it is necessary for h_{p1} to be negative, i.e. the pump inlet should be under vacuum (see Sub-clause 5.6.1.1)) with respect to the reference level (Figure 4), and that the value of this vacuum should be greater than the sum of $h_{v1} + H_{LS}$. For the model, H_{LS} may be so small as to be negligible.	h_s	m (ft)
5.6.12.2	Geodetic suction specific energy Specific energy corresponding to Sub-clause 5.6.12.1 $e_s = g \cdot h_s$	e_s	m^2/s^2 (ft^2/s^2)
5.6.13.1	Net positive suction head (NPSH) Absolute total head at inlet to pump referred to the reference level according to Figure 4 minus vapour pressure head $\begin{aligned} \text{NPSH} &= h_b + h_{p1} + h_{v1} - h_{va} \\ &= h_b - h_{va} - h_s - H_{LS} \end{aligned}$ where H_{LS} is the head loss as defined in Sub-clause 5.6.12.1.	NPSH	m (ft)
5.6.13.2	Net positive suction specific energy Specific energy corresponding to Sub-clause 5.6.13.1 $E_H = g (\text{NPSH})$	E_H	m^2/s^2 (ft^2/s^2)
5.6.14.1	Maximum specified pump head Maximum steady state pump total head at the rated speed.	$H_{\max}$	m (ft)
5.6.14.2	Maximum specified enthalpy rise Maximum steady state pump total enthalpy rise at the rated speed (corresponds to Sub-clause 5.6.14.1).	$E_{\max}$	J/kg (ft·lbf/lb)
5.6.15.1	Minimum specified pump head Minimum steady state pump total head at the rated speed.	$H_{\min}$	m (ft)
5.6.15.2	Minimum specified pump total enthalpy rise Minimum steady state pump total enthalpy rise at the rated speed (corresponds to Sub-clause 5.6.15.1).	$E_{\min}$	J/kg (ft·lbf/lb)
5.7	<i>Output and input</i>		
5.7.1	Pump output Hydraulic power imparted to discharge water by pump $\begin{aligned} P_h &= \rho g QH \cdot 10^{-3} \\ \text{or} \\ P_h &= \rho Q E \cdot 10^{-3} \end{aligned} \quad \left. \begin{array}{l} \text{International} \\ \text{System of} \\ \text{Units (S.I.)} \end{array} \right\}$ ($P_h = 0.001\,356\, \gamma\, QH$ ft·lb·s units)	P_h	kW
5.7.2	Pump input Mechanical power supplied to pump including all bearing and seal losses due to the pump.	P	kW
5.7.3	Mechanical power losses Mechanical power losses absorbed in bearings and shaft seals.	P_m	kW
5.7.4	Impeller power Net mechanical power supplied to impeller $P' = P - P_m$	P'	kW

Terme		Définition	Symbole	Unité
5.7.5	Puissance absorbée garantie	Puissance absorbée par la pompe à la vitesse de rotation de garantie et à la hauteur totale d'élévation de garantie et/ou au débit garanti.	P_r	kW
5.7.6	Puissance absorbée à débit nul	Puissance absorbée par la pompe à la vitesse de rotation de garantie, le refoulement étant obturé et cela pour la disposition spécifiée des directrices mobiles et des aubes de la roue.	P_0	kW
5.7.7	Puissance maximale absorbée par la pompe	Puissance maximale absorbée en régime permanent qui peut être rencontrée dans les conditions stipulées au contrat.	P_{max}	kW
5.7.8	Couple d'entraînement	Couple appliqué à l'arbre de la pompe correspondant à la puissance absorbée par celle-ci $T = \frac{60 P \times 1\,000}{2\pi n}$	T	Nm (lbf·ft)
5.7.9	Puissance fournie par la roue (ou les roues)	Puissance hydraulique transmise à l'eau par la roue (ou les roues), définie comme suit: $P'_h = \rho g (Q + q) H \cdot 10^{-3}$ $P'_h = \rho (Q + q) E \cdot 10^{-3}$ $P'_h = 0,001\,356 \gamma (Q + q) H$ les deux premières formules s'appliquant au système S.I. et la dernière au système pied-livre-seconde.	P'_h	kW
5.8	<i>Pertes et rendement</i>			
5.8.1	Rendement global de la pompe	Quotient de la puissance fournie par la pompe par la puissance absorbée par celle-ci pour une hauteur totale d'élévation déterminée ou un débit déterminé $\eta = \frac{P_h}{P}$	η	
5.8.2	Rendement moyen pondéré de la pompe	Rendement moyen pondéré calculé à partir des valeurs isolées $\eta_1, \eta_2, \eta_3 \dots$ correspondant aux valeurs de garantie de la hauteur totale d'élévation ou du débit avec les coefficients de pondération respectifs $w_1, w_2, w_3 \dots$ convenus pour ces hauteurs totales d'élévation ou ces débits, au moyen de la relation $\eta_w = \frac{w_1 \eta_1 + w_2 \eta_2 + w_3 \eta_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	η_w	
5.8.3	Rendement moyen arithmétique de la pompe	Rendement moyen pondéré défini au paragraphe 5.8.2 avec $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	η_a	
5.8.4	Rendement moyen planimétré de la pompe	Ordonnée moyenne de la courbe de rendement dans les limites de l'intervalle couvert par la garantie.	η_{pl}	
5.8.5	Rendement mécanique	Rapport de la puissance absorbée par le rotor interne à la puissance absorbée par la pompe $\eta_m = \frac{P'}{P} = \frac{P - P_m}{P}$	η_m	
5.8.6	Rendement hydraulique ¹⁾	Rapport de la puissance fournie par la roue (ou les roues) (voir le paragraphe 5.7.9) à la puissance absorbée par le rotor interne (voir le paragraphe 5.7.4) $\eta_h = \frac{P'_h}{P'}$	η_h	

¹⁾ Le rendement hydraulique η_h défini ci-dessus diffère de celui qui peut s'appeler « rendement hydraulique interne » utilisé parfois dans la pratique des pompes. Il y a aussi une différence correspondante entre η_m tel que défini ci-dessus et celui qui est en rapport avec le « rendement hydraulique interne ». Quoi qu'il en soit les définitions ci-dessus sont commodes pour tenir compte séparément de la perte par fuite volumétrique q , et ont l'avantage de donner la relation simple : $\eta = \eta_h \eta_m \eta_v$ dans laquelle le rendement volumétrique $\eta_v = \frac{Q}{Q + q}$.

Term		Definition	Symbol	Units
5.7.5	Guaranteed pump input	Pump input at rated speed, rated pump head and/or guaranteed discharge.	P_r	kW
5.7.6	Zero discharge input	Pump input at rated speed with outlet shut off for specified guide vane and impeller blade setting.	P_0	kW
5.7.7	Maximum pump input	Maximum steady input which can occur under stipulated conditions of contract.	$P_{\max}$	kW
5.7.8	Input torque	Torque applied to pump shaft corresponding to pump input $T = \frac{60 P \times 1\,000}{2\pi n}$	T	Nm (lbf-ft)
5.7.9	Power supplied by impeller(s)	Hydraulic power transmitted to the water by the impeller(s), defined as follows: $P'_h = \rho g (Q + q) H 10^{-3}$ $P'_h = \rho (Q + q) E 10^{-3}$ $P'_h = 0.001\,356 \gamma (Q + q) H$ where the first two formulae are for S.I. system and the last one for the foot-pound-second system.	P'_h	kW
5.8	<i>Losses and efficiency</i>			
5.8.1	Overall pump efficiency	Ratio of pump output to pump input at a particular pump total head or discharge $\eta = \frac{P_h}{P}$	η	
5.8.2	Pump weighted average efficiency	The weighted average efficiency computed from the single values $\eta_1, \eta_2, \eta_3 \dots$ at the specified pump head or discharge values and at their respective weights $w_1, w_2, w_3 \dots$ agreed for these heads or discharges by $\eta_w = \frac{w_1 \eta_1 + w_2 \eta_2 + w_3 \eta_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$	η_w	
5.8.3	Pump arithmetical average efficiency	Weighted average efficiency as defined in Sub-clause 5.8.2 with $w_1 = w_2 = w_3 = \dots = 1$	η_a	
5.8.4	Pump planimetric average efficiency	Mean height of the efficiency curve within the guaranteed range of discharge.	η_{pl}	
5.8.5	Mechanical efficiency	Ratio of impeller power to pump input $\eta_m = \frac{P'}{P} = \frac{P - P_m}{P}$	η_m	
5.8.6	Hydraulic efficiency ¹⁾	Ratio of power supplied by impellers (see Sub-clause 5.7.9) to impeller power (see Sub-clause 5.7.4) $\eta_h = \frac{P'}{P'}$	η_h	

¹⁾ Hydraulic efficiency η_h defined above differs from the so-called "inner hydraulic efficiency" sometimes used in pump practice. There is also a corresponding difference between η_m as defined above and that consistent with "inner hydraulic efficiency". However, the above definitions are convenient for separate allowance for volumetric leakage loss q , and have the advantage of giving the simple relationship $\eta = \eta_m \eta_m \eta_v$ where the volumetric efficiency $\eta_v = \frac{Q}{Q + q}$.

Terme		Définition	Symbole	Unité
5.9	<i>Vitesse de rotation</i>	Nombre de tours par unité de temps.	n ω f	tr/min rad/s tr/s (Hz)
5.9.1	Vitesse de rotation de garantie de la pompe	Vitesse de rotation à laquelle il est spécifié que la pompe doit tourner quand elle fonctionne au débit garantie et/ou à la hauteur totale de garantie.	n_T	tr/min
5.9.2	Vitesse maximale d'emballlement au dévirage	Vitesse de rotation maximale à la hauteur totale spécifiée (dans le sens de rotation du fonctionnement en turbine) atteinte quand l'alimentation du moteur est coupée.	n_R	tr/min
5.10	<i>Cavitation</i>	Formation de bulles de vapeur et de gaz due à la chute locale de pression et leur résorption brutale consécutive (voir le chapitre XI).	σ	
5.10.1	Erosion par cavitation	Erosion de la matière résultant de la cavitation.		
5.10.2	Coefficient de cavitation	Rapport de la charge nette positive à l'aspiration (voir le paragraphe 5.6.13) à la hauteur totale d'élévation du premier étage de pression H_F (voir le paragraphe 5.6.5.1) à un point de fonctionnement spécifié, par exemple à la hauteur totale de garantie: $\sigma = \frac{h_b - h_s - h_{va} - H_{LS}}{H_F} = \frac{\text{NPSH}}{H_F}$		
5.11	<i>Lettres majuscules en indice</i>			
	Machine industrielle	Indiquée par l'indice P, par exemple rendement de la machine industrielle: η_P	P	
	Modèle réduit	Indiqué par l'indice M, par exemple rendement du modèle réduit: η_M	M	
	Fonctionnement à l'emballlement au dévirage	Indiqué par l'indice R, par exemple: n_R	R	

6. Clarification

Les termes, définitions, symboles et unités utilisés pour les essais doivent être conformes aux indications de l'article 5 précédemment énuméré, exception faite seulement dans la mesure où elles ont été modifiées ou précisées par écrit d'un commun accord entre les parties contractantes avant le commencement des essais.

7. Masse volumique de l'eau

La variation avec la température de la masse volumique ρ de l'eau pure distillée à la pression absolue de 1 bar est donnée dans le tableau IA.

Pour des buts pratiques, il est préférable de prélever des échantillons de l'eau réellement utilisée dans le circuit d'essai et de mesurer sa masse volumique avec un hydromètre de précision ou une bouteille de mesure de densité relative.

Le poids volumique est $\gamma = \rho g$ N/m³ (lbf/ft³), la valeur de g étant celle donnée par le tableau II pour différentes latitudes et différentes altitudes au-dessus du niveau de la mer.

Term		Definition	Symbol	Units
5.9	<i>Rotational speed</i>	Number of revolutions per unit time.	n ω f	rev/min rad/s rev/s (Hz)
5.9.1	Rated pump speed	Speed at which the pump is specified to run when operating at guaranteed discharge and/or rated head.	n_r	rev/min
5.9.2	Maximum reverse runaway speed	Maximum speed (in the turbine direction) at specified head, attained when the motor is disconnected.	n_R	rev/min
5.10	<i>Cavitation</i>	Formation of vapour and gas bubbles due to local pressure drop and their subsequent collapse (see Chapter XI).	σ	
5.10.1	Cavitation erosion	Erosion of material caused by cavitation.		
5.10.2	Cavitation factor	Ratio of net positive suction head (see Sub-clause 5.6.13) to the first stage total head rise H_F (see Sub-clause 5.6.5.1) at a defined operating point, e.g. rated head: $\sigma = \frac{h_b - h_s - h_{va} - H_{LS}}{H_F} = \frac{\text{NPSH}}{H_F}$		
5.11	<i>Subscripts in capital letters</i>			
	Prototype	Denoted by subscript P, e.g. prototype efficiency: η_P	P	
	Model	Denoted by subscript M, e.g. model efficiency: η_M	M	
	Reverse runaway conditions	Denoted by subscript R, e.g. n_R	R	

6. Clarification

The terms, definitions, symbols and units used in the tests shall be in accordance with Clause 5 above, except in so far as they shall have been modified or clarified by written agreement between the contracting parties prior to the beginning of the tests.

7. Density of water

The variation with temperature of density ρ of pure distilled water at 1 bar absolute pressure is given in Table IA.

For practical purposes, it is preferable to take samples of the actual water in the test circuit and to measure its density by precision hydrometer or relative density bottle.

The weight density is $\gamma = \rho g \text{ N/m}^3 \text{ (lbf/ft}^3\text{)}$, where g is given in Table II for various latitudes and heights above sea level.

TABLEAU IA
Masse volumique de l'eau pure

Température °C	Masse volumique ρ	
	kg/m ³	lb/ft ³
0	999,87	62,42
4	1 000,00	62,43
10	999,73	62,41
15	999,13	62,38
20	998,23	62,32
25	997,08	62,25
30	995,68	62,16
35	994,07	62,06
40	992,25	61,95
Facteurs de conversion: 1 lb/ft ³ = 16,0185 kg/m ³ ; 1 kg/m ³ = 0,062 4278 lb/ft ³ .		

La masse volumique de l'air sec ρ_A est donnée par l'expression suivante:

$$\rho_A = \frac{1,293}{(1 + 0,003\,67\,t) (h_b/1\,013)} \text{ kg/m}^3$$

dans laquelle t est la température de l'air en degrés Celsius et h_b est la pression barométrique en millibar.

Des valeurs caractéristiques pour ρ_A sont données dans le tableau IB. La correction pour l'air humide introduit une différence négligeable dans la valeur de ρ' pour l'eau.

TABLEAU IB
Masse volumique de l'air sec ρ_A

Température de l'air °C	Pression barométrique h_b en millibar					
	1 000		1 013		1 030	
	kg/m ³	lb/ft ³ × 10 ²	kg/m ³	lb/ft ³ × 10 ²	kg/m ³	lb/ft ³ × 10 ²
0	1,276	7,966	1,293	8,072	1,314	8,204
2	1,267	7,910	1,284	8,016	1,305	8,147
4	1,258	7,854	1,274	7,954	1,296	8,091
6	1,248	7,791	1,265	7,900	1,285	8,022
8	1,240	7,741	1,256	7,841	1,277	7,973
10	1,231	7,685	1,247	7,785	1,268	7,916
12	1,222	7,629	1,238	7,729	1,259	7,860
14	1,214	7,580	1,230	7,679	1,250	7,804
16	1,205	7,523	1,221	7,623	1,241	7,748
18	1,197	7,473	1,213	7,573	1,233	7,698
20	1,189	7,423	1,205	7,523	1,225	7,648
22	1,181	7,373	1,196	7,467	1,216	7,592
24	1,173	7,323	1,188	7,417	1,208	7,542
26	1,165	7,273	1,180	7,367	1,200	7,492
28	1,157	7,223	1,173	7,323	1,192	7,442
30	1,149	7,173	1,165	7,273	1,184	7,392

8. Accélération due à la gravité

La variante de g , accélération due à la gravité, en fonction de la latitude terrestre (φ) et de l'altitude au-dessus du niveau moyen de la mer (Z), est donnée dans le tableau II.

TABLE IA
Density of pure water

Temperature °C	Density ρ	
	kg/m ³	lb/ft ³
0	999.87	62.42
4	1 000.00	62.43
10	999.73	62.41
15	999.13	62.38
20	998.23	62.32
25	997.08	62.25
30	995.68	62.16
35	994.07	62.06
40	992.25	61.95
Conversion factors: 1 lb/ft ³ = 16.0185 kg/m ³ . 1 kg/m ³ = 0.062 4278 lb/ft ³ .		

The density of dry air ρ_A is given by the following expression:

$$\rho_A = \frac{1.293}{(1 + 0.003\,67\,t)(h_b/1\,013)} \text{ kg/m}^3$$

where t is the air temperature in degrees Celsius and h_b is the barometric pressure in millibar.

Typical values of ρ_A are given in Table IB. The correction for damp air makes a negligible difference to ρ' for water.

TABLE IB
Density of dry air ρ_A

Air temperature °C	Barometric pressure h_b in millibar					
	1 000		1 013		1 030	
	kg/m ³	lb/ft ³ × 10 ²	kg/m ³	lb/ft ³ × 10 ²	kg/m ³	lb/ft ³ × 10 ²
0	1.276	7.966	1.293	8.072	1.314	8.204
2	1.267	7.910	1.284	8.016	1.305	8.147
4	1.258	7.854	1.274	7.954	1.296	8.091
6	1.248	7.791	1.265	7.900	1.285	8.022
8	1.240	7.741	1.256	7.841	1.277	7.973
10	1.231	7.685	1.247	7.785	1.268	7.916
12	1.222	7.629	1.238	7.729	1.259	7.860
14	1.214	7.580	1.230	7.679	1.250	7.804
16	1.205	7.523	1.221	7.623	1.241	7.748
18	1.197	7.473	1.213	7.573	1.233	7.698
20	1.189	7.423	1.205	7.523	1.225	7.648
22	1.181	7.373	1.196	7.467	1.216	7.592
24	1.173	7.323	1.188	7.417	1.208	7.542
26	1.165	7.273	1.180	7.367	1.200	7.492
28	1.157	7.223	1.173	7.323	1.192	7.442
30	1.149	7.173	1.165	7.273	1.184	7.392

8. Acceleration due to gravity

Variation of g , the acceleration due to gravity, with earth latitude (ϕ) and height above mean sea level (Z) is given in Table II.

TABLEAU II

Accélération g due à la gravité

Latitude φ degrés	Altitude Z en mètres (ft) au-dessus du niveau moyen de la mer							
	0	(0)	1 000	(3 281)	2 000	(6 562)	4 000	(13 124)
	m/s ²	ft/s ²	m/s ²	ft/s ²	m/s ²	ft/s ²	m/s ²	ft/s ²
0	9,780	32,09	9,777	32,08	9,774	32,07	9,768	32,05
10	9,782	32,09	9,779	32,08	9,776	32,08	9,770	32,06
20	9,786	32,11	9,783	32,10	9,780	32,09	9,774	32,07
30	9,793	32,13	9,790	32,12	9,787	32,11	9,781	32,10
40	9,802	32,16	9,799	32,15	9,796	32,14	9,789	32,12
50	9,811	32,19	9,808	32,18	9,804	32,17	9,798	32,15
60	9,819	32,22	9,816	32,21	9,813	32,20	9,807	32,18
70	9,826	32,24	9,823	32,23	9,820	32,22	9,814	32,20

Le tableau ci-dessus est déduit de la formule:

$$g = 9,806\,17 (1 - 2,64 \cdot 10^{-3} \cos 2\varphi + 7 \cdot 10^{-6} \cos^2 2\varphi) - 3,086 \cdot 10^{-6} \cdot Z$$

La valeur normale internationale de g est 9,806 65 m/s².

9. Pression de vapeur de l'eau distillée

La variation de h_{va} — pression de vapeur de l'eau distillée — en fonction de la température est donnée dans le tableau III.

TABLEAU III

Variation de h_{va} — pression de vapeur de l'eau distillée — en fonction de la température

Température °C	Pression de vapeur			
	Masse volumique de l'eau ¹⁾	Bar ²⁾	Mètres d'eau ³⁾	Pieds d'eau ³⁾
	kg/m ³			
0	999,87	0,006 11	0,0623	0,204
1	999,93	0,006 57	0,0670	0,220
2	999,97	0,007 05	0,0719	0,236
3	999,99	0,007 58	0,0772	0,253
4	1 000,00	0,008 13	0,0829	0,272
5	999,99	0,008 72	0,0889	0,292
6	999,97	0,009 35	0,0953	0,313
7	999,93	0,010 01	0,1021	0,335
8	999,88	0,010 72	0,1093	0,359
9	999,81	0,011 47	0,1170	0,384
10	999,73	0,012 27	0,1252	0,411
11	999,63	0,013 12	0,1338	0,439
12	999,53	0,014 01	0,1430	0,469
13	999,40	0,014 97	0,1527	0,501
14	999,27	0,015 97	0,1630	0,535
15	999,13	0,017 04	0,1739	0,571
16	998,97	0,018 17	0,1855	0,609
17	998,80	0,019 36	0,1977	0,649
18	998,62	0,020 63	0,2106	0,691
19	998,43	0,021 96	0,2243	0,736

¹⁾ Extrait du *Chemical Engineer's Handbook*.

²⁾ « Steam Tables » du N.E.L. (Naval Electronics Laboratory), 1964.

³⁾ A la température P ambiante de l'eau.

TABLE II

Acceleration g due to gravity

Latitude ϕ degrees	Height Z in metres (ft) above mean sea level							
	0	(0)	1 000	(3 281)	2 000	(6 562)	4 000	(13 124)
	m/s ²	ft/s ²	m/s ²	ft/s ²	m/s ²	ft/s ²	m/s ²	ft/s ²
0	9.780	32.09	9.777	32.08	9.774	32.07	9.768	32.05
10	9.782	32.09	9.779	32.08	9.776	32.08	9.770	32.06
20	9.786	32.11	9.783	32.10	9.780	32.09	9.774	32.07
30	9.793	32.13	9.790	32.12	9.787	32.11	9.781	32.10
40	9.802	32.16	9.799	32.15	9.796	32.14	9.789	32.12
50	9.811	32.19	9.808	32.18	9.804	32.17	9.798	32.15
60	9.819	32.22	9.816	32.21	9.813	32.20	9.807	32.18
70	9.826	32.24	9.823	32.23	9.820	32.22	9.814	32.20

The above table is derived from the formula:

$$g = 9.806\,17 (1 - 2.64 \cdot 10^{-3} \cos 2\phi + 7 \cdot 10^{-6} \cos^2 2\phi) - 3.086 \cdot 10^{-6} \cdot Z$$

The international standard value of g is 9.806 65 m/s².

9. Vapour pressure of distilled water

Variation of h_{va} — the vapour pressure of distilled water — with temperature is given in Table III.

TABLE III

Variation of h_{va} — the vapour pressure of distilled water — with temperature

Temperature °C	Vapour pressure			
	Density of water ¹⁾	Bar ²⁾	Metres of water ³⁾	Feet of water ³⁾
	kg/m ³			
0	999.87	0.006 11	0.0623	0.204
1	999.93	0.006 57	0.0670	0.220
2	999.97	0.007 05	0.0719	0.236
3	999.99	0.007 58	0.0772	0.253
4	1 000.00	0.008 13	0.0829	0.272
5	999.99	0.008 72	0.0889	0.292
6	999.97	0.009 35	0.0953	0.313
7	999.93	0.010 01	0.1021	0.335
8	999.88	0.010 72	0.1093	0.359
9	999.81	0.011 47	0.1170	0.384
10	999.73	0.012 27	0.1252	0.411
11	999.63	0.013 12	0.1338	0.439
12	999.53	0.014 01	0.1430	0.469
13	999.40	0.014 97	0.1527	0.501
14	999.27	0.015 97	0.1630	0.535
15	999.13	0.017 04	0.1739	0.571
16	998.97	0.018 17	0.1855	0.609
17	998.80	0.019 36	0.1977	0.649
18	998.62	0.020 63	0.2106	0.691
19	998.43	0.021 96	0.2243	0.736

¹⁾ Taken from *Chemical Engineer's Handbook*.

²⁾ N.E.L. (Naval Electronics Laboratory) Steam Tables, 1964.

³⁾ At ambient P temperature of water.

TABLEAU III (suite)

Variation de h_{va} — pression de vapeur de l'eau distillée — en fonction de la température

Température °C	Pression de vapeur			
	Masse volumique de l'eau ¹⁾ kg/m ³	Bar ²⁾	Mètre d'eau ³⁾	Pieds d'eau ³⁾
20	998,23	0,023 37	0,2387	0,783
21	998,02	0,024 86	0,2540	0,833
22	997,81	0,026 42	0,2700	0,886
23	997,57	0,028 08	0,2870	0,942
24	997,33	0,029 82	0,3049	1,000
25	997,08	0,031 66	0,3238	1,062
26	996,82	0,033 60	0,3437	1,128
27	996,55	0,035 64	0,3647	1,197
28	996,27	0,037 78	0,3867	1,269
29	995,98	0,040 04	0,4100	1,345
30	995,68	0,042 42	0,4344	1,425
31	995,37	0,044 91	0,4601	1,510
32	995,06	0,047 54	0,4871	1,598
33	994,73	0,050 29	0,5155	1,691
34	994,40	0,053 18	0,5454	1,789
35	994,06	0,056 22	0,5767	1,892

¹⁾ Extrait du *Chemical Engineer's Handbook*.
²⁾ « Steam Tables » du N.E.L. (Naval Electronics Laboratory) 1964.
³⁾ A la température P ambiante de l'eau.

TABLE III (continued)
Variation of h_{va} — the vapour pressure of distilled water — with temperature

Temperature °C	Vapour pressure			
	Density of water ¹⁾ kg/m ³	Bar ²⁾	Metres of water ³⁾	Feet of water ³⁾
20	998.23	0.023 37	0.2387	0.783
21	998.02	0.024 86	0.2540	0.833
22	997.81	0.026 42	0.2700	0.886
23	997.57	0.028 08	0.2870	0.942
24	997.33	0.029 82	0.3049	1.000
25	997.08	0.031 66	0.3238	1.062
26	996.82	0.033 60	0.3437	1.128
27	996.55	0.035 64	0.3647	1.197
28	996.27	0.037 78	0.3867	1.269
29	995.98	0.040 04	0.4100	1.345
30	995.68	0.042 42	0.4344	1.425
31	995.37	0.044 91	0.4601	1.510
32	995.06	0.047 54	0.4871	1.598
33	994.73	0.050 29	0.5155	1.691
34	994.40	0.053 18	0.5454	1.789
35	994.06	0.056 22	0.5767	1.892

¹⁾ Taken from *Chemical Engineer's Handbook*.
²⁾ N.E.L. (Naval Electronics Laboratory) Steam Tables, 1964.
³⁾ At ambient P temperature of water.

Withholding

CHAPITRE III: NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES TECHNIQUES

10. Généralités

Un contrat pour une pompe d'accumulation contient généralement des garanties principales de débit et de rendement de la pompe et des garanties complémentaires concernant la puissance maximale absorbée et quelquefois la hauteur totale à débit nul et la puissance absorbée à débit nul, la vitesse d'emballlement au dévirage et l'érosion par cavitation.

Les essais de réception sur le modèle réduit ne sont valables que si la similitude géométrique est assurée entre le modèle réduit et la machine industrielle. Le contrat devra établir la procédure à adopter si les tolérances convenues d'un commun accord ou indiquées au chapitre IV, paragraphe 15.2.2 et 15.4, sont dépassées.

Les garanties concernant le fonctionnement hydraulique de la pompe ne peuvent être contrôlées que pour des conditions d'écoulement satisfaisantes à l'entrée et à la sortie de celle-ci durant les essais sur modèle réduit. L'influence des perturbations et l'existence des pertes, en amont et en aval de la pompe, ne peuvent normalement être imputées à celle-ci. Si l'installation de la machine industrielle est telle que des conditions satisfaisantes d'écoulement ne peuvent être réalisées, un essai complémentaire peut être effectué par accord mutuel entre les parties, pour fournir des informations en vue de savoir de combien le rendement de la pompe peut en être défavorablement affecté.

L'acheteur fournira les caractéristiques complètes, exactes et correctes du circuit hydraulique en amont et en aval, y compris tous les éléments de construction susceptibles d'avoir une influence sur le fonctionnement hydraulique de la pompe. L'étendue des conduits hydrauliques attenants à la machine industrielle qui doivent être reproduits dans le modèle réduit doit être précisée par écrit d'un commun accord et les sections de mesure à l'entrée et à la sortie doivent être définies.

Le fournisseur n'est pas responsable des valeurs de la hauteur totale d'élévation sur lesquelles sont basés les débits et les autres garanties, même si lui-même ou l'un de ses agents a effectué les mesures et les calculs nécessaires à sa détermination.

11. Garanties principales

Lorsque la réception de la pompe doit être prononcée d'après les essais sur modèle réduit, les méthodes suivantes de garantie pour la machine industrielle sont possibles:

1. Garanties basées sur les résultats d'essais sur modèle réduit sans tenir compte d'effets d'échelle.
2. Garanties basées sur les résultats d'essais sur modèle réduit en tenant compte d'effets d'échelle.

11.1 Débit

La garantie ayant trait au débit de la pompe est respectée si, à la vitesse de rotation de garantie et à la hauteur totale de garantie H_r , la pompe fournit un débit non inférieur à 0,985 fois le débit garanti Q_r , et non supérieur à 1,015 fois ce débit garanti (voir le chapitre VI, paragraphe 31.1).

Le débit est garanti à l'intérieur de la bande de tolérance de $\pm 1,5\%$ pour seulement une hauteur; mais, en outre, il y a habituellement deux autres limites spécifiées pour la courbe de la hauteur contre le débit: un débit minimal $Q_{\min}$, pour la hauteur totale maximale spécifiée qui est basée sur des considérations de stabilité de la pompe, et un débit maximal $Q_{\max}$, pour la hauteur totale minimale spécifiée qui est basée sur la puissance maximale absorbée par la pompe (voir la figure 10, page 133).

11.2 Rendement

11.2.1 Ce code d'essais s'applique aux cas où les garanties de rendement sont basées sur des essais sur modèle, l'effet d'échelle étant pris en compte ou non. Il doit être clairement stipulé si les garanties sont données pour les rendements dans des conditions de cavitation (de préférence celles qui correspondent à l'implantation en hauteur de la machine industrielle, c'est-à-dire qui correspondent aux valeurs de σ d'installation) ou pour des conditions de non-cavitation (voir le chapitre IV, paragraphe 14.6.2, et le chapitre XI, paragraphe 54.1).

CHAPTER III: NATURE AND EXTENT OF TECHNICAL GUARANTEES

10. General

A contract for a storage pump usually contains main guarantees for discharge and pump efficiency and additional guarantees covering maximum power input and sometimes zero discharge head and zero discharge input, reverse runaway speed and cavitation erosion.

The acceptance tests on the model are valid only if geometrical similarity is maintained between model and prototype. The contract should state the procedure to be adopted if the tolerances agreed upon or as indicated in Chapter IV, Sub-clauses 15.2.2 and 15.4, are exceeded.

Guarantees for the hydraulic behaviour of the pump can only be checked for satisfactory flow conditions at the pump inlet and outlet during the model tests. The influence of disturbances and the existence of losses, upstream and downstream of the pump, cannot normally be charged against the pump. If the prototype installation is such that satisfactory flow conditions cannot be provided, an additional test may be made by mutual agreement to provide information on the extent to which pump characteristics may be adversely affected.

The purchaser shall provide true, full and acceptable data concerning the waterways on the inlet and outlet reference sections of the pump, including all elements of construction which are likely to influence the hydraulic performance of the pump. The extent of the water passages connected to the pump shall be agreed in writing and the inlet and outlet measuring sections defined.

The supplier shall not be responsible for the values of pump total head on which the discharge and other guarantees are to be based even though he himself or his agent has made the measurements and calculations necessary for them,

11. Main guarantees

When pump acceptance is to be determined by model tests, the following methods of guarantee for the prototype are possible:

1. Guarantees based on model test results without allowance for scale effects.
2. Guarantees based on model test results with allowance for scale effects.

11.1 Discharge

The guarantee covering the pump discharge is met if, at the rated speed and the rated pump head H_r , the pump delivers not less than 0.985 times and not more than 1.015 times the guaranteed discharge Q_r (see Chapter VI, Sub-clause 31.1).

The discharge is guaranteed within a $\pm 1.5\%$ tolerance band for only one head; but, in addition, there will usually be two further limits stipulated for the head-discharge curve: a minimum discharge Q_{min} , for maximum specified pump head based on pump stability considerations, and a maximum discharge Q_{max} , for minimum specified pump head based on maximum pump input power (see Figure 10, page 133).

11.2 Efficiency

11.2.1 This test code applies to those cases where guarantees of efficiency are based upon a model test, with or without allowances for scale effects. It shall be clearly stated whether guarantees are given for efficiencies under cavitating conditions (preferably corresponding to the setting of the prototype or corresponding to plant σ values) or non-cavitating conditions (see Chapter IV, Sub-clause 14.6.2, and Chapter XI, Sub-clause 54.1).

Les garanties de rendement sont respectées si les rendements obtenus ne sont pas inférieurs à ceux garantis. Les garanties peuvent être données de l'une des manières suivantes:

11.2.2 En fonction de la hauteur totale d'élévation ¹⁾:

- a) Pour la hauteur totale de garantie et pour différentes autres hauteurs totales d'élévation spécifiées.
- b) En tant que rendement moyen pondéré dans une gamme de hauteurs totales d'élévation (voir le chapitre II, paragraphe 5.8.2).
- c) En tant que rendement moyen arithmétique dans une gamme de hauteurs totales d'élévation (voir le chapitre II, paragraphe 5.8.3).
- d) En tant que rendement moyen planimétré dans une gamme de hauteurs totales d'élévation (voir le chapitre II, paragraphe 5.8.4).

Ces garanties peuvent être demandées et données:

- pour différentes vitesses de rotation spécifiées, dans le cas de pompes sans moyen de réglage;
- pour différentes vitesses de rotation spécifiées et/ou différents débits spécifiés, dans le cas de pompes à aubes orientables sur la roue et/ou à ailettes directrices mobiles.

11.2.3 En fonction du débit ¹⁾:

- a) Pour le débit garanti et pour différents autres débits spécifiés.
- b) En tant que rendement moyen pondéré dans une gamme de débits (voir le chapitre II, paragraphe 5.8.2).
- c) En tant que rendement moyen arithmétique dans une gamme de débits (voir le chapitre II, paragraphe 5.8.3).
- d) En tant que rendement moyen planimétré dans une gamme de débits (voir le chapitre II, paragraphe 5.8.4).

Ces garanties peuvent être demandées et données:

- pour différentes vitesses de rotation spécifiées, dans le cas de pompes sans moyen de réglage;
- pour différentes vitesses de rotation spécifiées et/ou différentes hauteurs totales d'élévation spécifiées, dans le cas de pompes à aubes orientables sur la roue et/ou à ailettes directrices mobiles.

11.3 *Transposition du rendement hydraulique*

Si, dans la conversion des résultats d'essais de la pompe modèle réduit aux caractéristiques de fonctionnement attendues pour la machine industrielle, on se propose de majorer le rendement hydraulique, la formule à utiliser pour l'effet d'échelle et sa méthode d'application doivent faire l'objet d'un commun accord à l'époque de la négociation du contrat. En l'absence de formule de transposition convenue au préalable, il est suggéré que, si une telle formule est réclamée ultérieurement, on adopte une de celles spécifiées au chapitre VI, article 30. L'attention doit être attirée cependant sur le fait que seules les pertes hydrauliques dans les canaux de passage (voir le paragraphe 15.2.2) et par le frottement de disque peuvent être transposées, tandis que les pertes mécaniques et les pertes par fuites doivent être prises en compte séparément pour le modèle réduit aussi bien que pour la machine industrielle (voir le chapitre IV, paragraphe 14.5). Afin de pouvoir prendre ces pertes en compte séparément, il est nécessaire qu'il existe un accord sur les pertes mécaniques et sur les pertes par fuites de la machine industrielle.

12. **Autres garanties**

Elles peuvent être basées sur les résultats des essais sur modèle réduit avec ou sans prise en compte d'effets d'échelle.

12.1 *Puissance maximale absorbée par la pompe*

Des garanties peuvent être données sur la limitation de la puissance maximale absorbée par la pompe.

12.2 *Hauteur totale à débit nul et puissance absorbée à débit nul*

Des garanties complémentaires peuvent être données concernant la hauteur totale à débit nul et la puissance absorbée à débit nul à différentes vitesses de rotation spécifiées pendant le démarrage de la pompe, et cela pour une position donnée des directrices mobiles et/ou des aubes de la roue.

¹⁾ Les garanties concernant le rendement sont à donner de préférence en fonction de la hauteur totale d'élévation plutôt qu'en fonction du débit.

The guarantees regarding efficiency are met if the efficiencies obtained are not less than those guaranteed. The guarantees may be given in one of the following ways:

11.2.2 As a function of pump total head:¹⁾

- a) For the rated pump head and for other different specified pump heads.
- b) As weighted average efficiency over a pump head range (see Chapter II, Sub-clause 5.8.2).
- c) As arithmetical average efficiency over a pump head range (see Chapter II, Sub-clause 5.8.3).
- d) As planimetric average efficiency over a pump head range (see Chapter II, Sub-clause 5.8.4).

These guarantees may be asked for and given:

- for non-adjustable pumps for different speeds;
- for pumps with movable impeller blades and/or movable guide vanes for different specified speeds and/or different specified pump discharges.

11.2.3 As a function of discharge:¹⁾

- a) For the guaranteed discharge and for other different specified discharges.
- b) As weighted average efficiency over a discharge range (see Chapter II, Sub-clause 5.8.2).
- c) As arithmetical average efficiency over a discharge range (see Chapter II, Sub-clause 5.8.3).
- d) As planimetric average efficiency over a discharge range (see Chapter II, Sub-clause 5.8.4).

These guarantees may be asked for and given:

- for non-adjustable pumps for different specified speeds;
- for pumps with movable impeller blades and/or different specified pump heads.

11.3 *Scale-up of hydraulic efficiency*

If, on conversion of the model pump test results to the expected prototype pump performance, it is intended to scale-up the hydraulic efficiency, the formula and the method of application for scale effect shall be agreed upon at the time of negotiating the contract. In the absence of any previously agreed formula, it is suggested that if one is subsequently required it should be one of the formulae specified in Chapter VI, Clause 30. It should be borne in mind, however, that only hydraulic losses in the water passages (see Sub-clause 15.2.2) and those due to disk friction can be scaled whereas mechanical and leakage losses have to be allowed for separately, for model pump as well as prototype pump (see Chapter IV, Sub-clause 14.5). To permit such separate allowances, an agreement must exist on prototype mechanical and seal losses.

12. **Other guarantees**

These may be on the basis of model test results with or without allowance for scale effects.

12.1 *Maximum pump input*

Guarantees may be given on the limit of the maximum pump input.

12.2 *Head and power absorption at zero discharge*

Additional guarantees may be given concerning the pump head and input at various specified speeds and zero discharge during the starting of the pump for a given position of the guide vanes and/or impeller blades.

¹⁾ It is preferable to give the guarantees regarding efficiency as a function of pump total head, rather than as a function of discharge.

12.3 Vitesse d'emballement au dévirage

Une garantie peut être donnée stipulant que la vitesse d'emballement au dévirage de la pompe pour une certaine hauteur totale d'élévation et dans les conditions de fonctionnement les plus défavorables possibles (voir la figure 9b, page 132) ne dépassera pas une valeur spécifiée, tant en régime permanent que dans les conditions transitoires de fonctionnement.

Cette vitesse maximale d'emballement au dévirage de la pompe n_{Rmax} (voir le paragraphe 5.9.2) correspond au fonctionnement à couple nul sous la hauteur totale d'élévation maximale correspondante H_{Rmax} spécifiée quelle soit permanente ou transitoire (voir la figure 9b) *.

12.4 Débit à l'emballement au dévirage

De façon analogue au paragraphe 12.3, des garanties peuvent être données concernant le débit à l'emballement au dévirage dans les conditions de fonctionnement les plus défavorables (voir le paragraphe 54.3).

13. Fonctionnement en cavitation

La cavitation peut affecter considérablement le fonctionnement d'une pompe et les méthodes d'essai dans des conditions de cavitation sont exposées au chapitre XI.

Une diminution de la charge nette positive à l'aspiration (NPSH) provoquera une modification des courbes caractéristiques hauteur-débit, de même qu'une modification des courbes caractéristiques de rendement et de puissance. L'apparition de ces modifications survient pour des valeurs définies du coefficient de cavitation qui peuvent être déterminées par les essais (voir le chapitre XI).

La cavitation, le long des aubes de la roue, survient avant que ces limites soient atteintes. Cela peut être mis en évidence par visualisation. Le degré d'érosion du matériau des roues et des autres parties de la pompe causé par la cavitation peut être déterminé uniquement sur place sur la machine industrielle. La roue du modèle réduit doit, cependant, être exempte d'érosion par cavitation à la fin de la durée limitée des essais pour que les résultats de ces essais soient considérés comme valables.

* Dans le cas où la pompe comporte des ailettes directrices mobiles et/ou des pales de roue orientables, la figure 9b doit être déterminée pour la disposition des ailettes directrices et des pales correspondant aux conditions de fonctionnement les plus défavorables (voir chapitre V, paragraphe 22.1, et chapitre VII, article 32).

12.3 Reverse runaway speed

A guarantee may be given that the reverse runaway speed of the pump at a certain head and at the worst possible operating conditions (see Figure 9b, page 132) will not exceed a specified value for either steady or transient conditions.

The maximum reverse runaway speed of the pump n_{Rmax} (see Sub-clause 5.9.2) corresponds to operation at zero torque under the corresponding maximum total head H_{Rmax} specified under either steady or transient conditions (see Figure 9b) *.

12.4 Reverse runaway discharge

In a similar way to Sub-clause 12.3, guarantees may be given for the reverse runaway discharge under the worst conditions of operation (see Sub-clause 54.3).

13. Performance under cavitation

Cavitation may considerably affect the performance of a pump and methods of testing under cavitating conditions are outlined in Chapter XI.

Decreasing the net positive suction head (NPSH) will cause a change in the head versus discharge characteristics as well as in the efficiency and power curves. The onset of these changes occurs at definite cavitation coefficients which can be determined by tests (see Chapter XI).

Cavitation along the impeller blades occurs before these limits are reached. This can be demonstrated by observation. The extent of the pitting of the material of impellers and other pump parts caused by cavitation can only be established at site. The model impeller, however, must be free from pitting during the limited time of the test if the test results are to be regarded as valid.

* In the case of a pump with movable guide vanes and/or variable pitch impeller blades, Figure 9b should be determined for the combination of guide vane and impeller blade settings which give the worst conditions of operation (see Chapter V, Sub-clause 22.1, and Chapter VII, Clause 32).

CHAPITRE IV: CONDITIONS À REMPLIR POUR LES ESSAIS

14. Installations d'essais

Les installations d'essais convenant à la réalisation d'essais de réception sur modèle réduit de pompe d'accumulation doivent satisfaire aux conditions suivantes:

14.1 Caractéristiques de l'eau

L'eau doit être propre et claire et ne doit contenir ni particules solides ni produits chimiques incompatibles avec les matériaux du modèle réduit. Les gaz libérés et les bulles d'air doivent être éliminés dans toute la mesure du possible (voir le chapitre XI, paragraphe 56.2). La température de l'eau doit être mesurée et la teneur totale en air et en gaz doit être déterminée à l'aide d'un appareil de Van Slyke (voir le chapitre XI, paragraphe 56.2) ou d'un appareil équivalent. Au cours de chaque série individuelle de points d'essais, la variation de la teneur en gaz doit être aussi faible que possible. Une série de points d'essais comprend des mesures faites sur toute une gamme de hauteurs-débites pour une condition de fonctionnement particulière de la pompe, par exemple pour une vitesse de rotation déterminée et une position des pales déterminée. La température de l'eau ne doit pas varier de plus de 12 °C au cours d'une série de points d'essais et ne doit pas dépasser 35 °C. Pour les pompes à pales orientables, la température de l'eau pour toutes les séries de points d'essais doit rester à l'intérieur de cet écart de 12 °C entre les températures limites.

14.2 Conditions d'écoulement

14.2.1 Entrée de la pompe modèle réduit

Les essais sur le modèle réduit devraient, de façon générale, être effectués dans des conditions d'alimentation hydraulique favorables à l'entrée, exemptes de vortex, de turbulence anormale et d'instabilités. Si les conditions d'alimentation à l'entrée de la machine industrielle sont anormales, il sera nécessaire d'arranger le modèle réduit de façon que les conditions d'écoulement à l'entrée soient identiques à celles de la machine industrielle pourvu que le contrat de commande de la pompe ait prévu que celle-ci devait fonctionner dans ces conditions et pourvu aussi que le fournisseur soit disposé à accepter ces conditions d'alimentation particulières à l'entrée (voir le chapitre III, article 10).

14.2.2 Sortie de la pompe modèle réduit

La section de mesure de la pompe modèle réduit devra reproduire les conditions de refoulement dans lesquelles la machine industrielle doit fonctionner d'après le contrat (voir le chapitre II, paragraphe 5.2.2).

14.3 Fluctuations pendant une série de points d'essais

Alors qu'une série de points d'essais peut durer plusieurs heures ou davantage, les diverses mesures faites pour chaque valeur du débit peuvent prendre seulement quelques minutes ou même quelques secondes. Des fluctuations¹⁾ rapides dans les lectures sont toujours présentes ainsi que, à plus long terme, des changements dans les valeurs moyennes. Par exemple, pour des lectures faites en moins d'une minute et en utilisant un moteur électrique à courant alternatif pour entraîner la pompe, il n'est pas déraisonnable d'exiger que la vitesse de rotation instantanée ne s'écarte pas de plus de $\pm 0,1\%$ de sa valeur moyenne tandis que sur une durée de plusieurs heures, la vitesse de rotation peut changer et on peut seulement s'attendre à ce que les lectures de vitesse de rotation ne s'écartent pas de $\pm 0,5\%$ environ de leur valeur moyenne.

Toutes fluctuations dans les mesures instantanées, durant une série de points d'essais à un certain débit (avec une position angulaire donnée des aubes de la roue et/ou des ailettes directrices dans le cas de machines où ces éléments sont orientables), ne doivent pas dépasser $\pm 0,5\%$ de la hauteur totale d'élévation moyenne du modèle réduit, $\pm 0,25\%$ de sa vitesse de rotation moyenne, $\pm 0,25\%$ du débit moyen de la pompe et $\pm 0,75\%$ de sa puissance absorbée moyenne. Au cours d'une série de points d'essais, il se produira de petites variations dans les conditions de fonctionnement moyennes, elles pourront être corrigées à l'aide des lois de similitude (voir le chapitre VI, paragraphe 25.1) pourvu que:

¹⁾ Les fluctuations de ce genre sont acceptables, à condition que leur amplitude soit suffisamment faible (voir plus loin) et qu'elles ne soient pas de nature périodique mais plutôt de type accidentel.