

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
609**

Première édition
First edition
1978

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

**Cavitation pitting evaluation in hydraulic
turbines, storage pumps and pump-turbines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 609: 1978

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles auprès du Bureau Central de la CEI.

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

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

Terminologie

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

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

Symboles graphiques et littéraux

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

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

et pour les appareils électromédicaux,

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

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

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

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

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available from the IEC Central Office.

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

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

Terminology

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

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

Graphical and letter symbols

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

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

and for medical electrical equipment,

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

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

IEC publications prepared by the same technical committee

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

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
609**

Première édition
First edition
1978

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

**Cavitation pitting evaluation in hydraulic
turbines, storage pumps and pump-turbines**

© CEI 1978 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

P

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

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
 SECTION UN – GÉNÉRALITÉS	
Articles	
1. Introduction	6
2. Domaine d'application et objet	10
3. Exclusions et limites	10
 SECTION DEUX – TERMINOLOGIE, SYMBOLES ET DÉFINITIONS	
4. Système de mesure	12
5. Liste des termes employés	12
 SECTION TROIS – NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES RELATIVES À L'ÉROSION DE CAVITATION	
6. Période de garantie	18
7. Définition de l'extension de l'érosion de cavitation	18
8. Plages et durée de fonctionnement	18
 SECTION QUATRE – MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS	
9. Réparation prématurée des dégâts dus à la cavitation	20
10. Mesure et calcul de l'extension de l'érosion de cavitation	22
 SECTION CINQ – CALCUL DES RÉSULTATS	
11. Respect de la garantie	26
ANNEXE A – Exemples d'extension de l'érosion de cavitation	28

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
SECTION ONE – GENERAL	
Clause	
1. Introduction	7
2. Scope and object	11
3. Excluded topics and limitations	11
SECTION TWO – TERMS, SYMBOLS AND DEFINITIONS	
4. Measuring system	13
5. List of terms	13
SECTION THREE – NATURE AND EXTENT OF CAVITATION PITTING GUARANTEES	
6. Period of guarantee	19
7. Definition of the amount of cavitation pitting	19
8. Operating ranges and duration of operation	19
SECTION FOUR – TEST PROCEDURE	
9. Premature repair of cavitation pitting	21
10. Measurement and calculation of the amount of cavitation pitting	23
SECTION FIVE – COMPUTATION OF RESULTS	
11. Fulfillment of the guarantee	27
APPENDIX A – Examples of amounts of cavitation pitting	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ÉVALUATION DE L'ÉROSION DE CAVITATION DANS LES
TURBINES, LES POMPES D'ACCUMULATION ET LES
POMPES-TURBINES HYDRAULIQUES**

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Munich en 1973 et à Tokyo en 1975. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 4 (Bureau Central)35, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en janvier 1976.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud (République d')	Italie
Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Brésil	Suède
Bulgarie	Suisse
Canada	Tchécoslovaquie
Egypte	Turquie
Espagne	Union des Républiques
France	Socialistes Soviétiques

Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:

- Publications Nos. 193A: Premier complément à la Publication 193: Code international concernant les essais de réception sur modèle des turbines hydrauliques.
- 497: Code international concernant les essais de réception sur modèle réduit des pompes d'accumulation.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CAVITATION PITTING EVALUATION IN HYDRAULIC TURBINES,
STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES**

FOREWORD

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

PREFACE

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

Drafts were discussed at meetings held in Munich in 1973 and in Tokyo in 1975. As a result of this second meeting, a draft, Document 4(Central Office)33, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in January 1976.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Austria
Belgium
Brazil
Bulgaria
Canada
Czechoslovakia
Egypt
France
Germany
Italy

Japan
Norway
Romania
South Africa (Republic of)
Spain
Sweden
Switzerland
Turkey
Union of Soviet
Socialist Republics
United Kingdom

Other IEC publications quoted in this standard:

Publications Nos. 193A: First supplement to Publication 193: International Code for Model Acceptance Tests of Hydraulic Turbines.

497: International Code for Model Acceptance Tests of Storage Pumps.

ÉVALUATION DE L'ÉROSION DE CAVITATION DANS LES TURBINES, LES POMPES D'ACCUMULATION ET LES POMPES-TURBINES HYDRAULIQUES

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

1. Introduction

Les garanties relatives à l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques sont complètement différentes des autres garanties établies dans un contrat et représentent des caractéristiques propres à la machine, telles que le rendement. L'extension de l'érosion de cavitation dépend essentiellement de quatre facteurs:

- a) Le type et le tracé de la machine.
- b) La matière et l'état de surface des parties soumises à la cavitation.
- c) Le calage en hauteur de la machine dans la station, c'est-à-dire la valeur du σ d'installation.
- d) La durée et les conditions de fonctionnement.

Les points a) et b) définissent la machine et les points c) et d) dépendent de la conception de l'installation et de son fonctionnement. En conséquence, la garantie relative à l'érosion de cavitation ne peut être définie que d'un commun accord entre le client et le fournisseur pendant le projet de l'installation ou durant les négociations du contrat.

Une telle garantie peut être établie de deux manières différentes:

- ou bien le calage en hauteur de la machine (et par conséquent la valeur du σ d'installation) est donné et l'extension de l'érosion de cavitation doit être fixée d'un commun accord compte tenu de la taille, de la vitesse de rotation, du matériau, des états de surface, du fonctionnement, etc., de la turbine ou de la pompe (voir les figures 1a et 1b, page 8).
- ou bien l'extension de l'érosion de cavitation est fixée dans certaines limites et l'on doit convenir du calage en hauteur de la machine (voir les figures 1a et 1c, page 8).

Dans certains cas, une machine peut avoir son fonctionnement normal en l'absence de toute cavitation (par exemple turbines Pelton fonctionnant avec de faibles variations de chute, turbines à axe horizontal dans les installations d'accumulation, etc.), ou bien il est demandé qu'elle fonctionne sans cavitation aucune; mais il est généralement plus économique d'accepter une légère érosion de cavitation, ce qui conduit à un calage en hauteur à un niveau plus élevé qu'il ne serait nécessaire pour obtenir un fonctionnement des machines sans érosion de cavitation.

CAVITATION PITTING EVALUATION IN HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES

SECTION ONE – GENERAL

1. Introduction

Guarantees applying to cavitation pitting in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines are quite different from other guarantees stated in a contract representing inherent characteristics of the machine, such as efficiency. The amount of cavitation pitting depends essentially on four factors:

- a) The type and design of the machine.
- b) The material and surface condition of the parts subjected to cavitation.
- c) The setting of the machine in the plant, i.e. the σ value of the plant.
- d) The duration of operation and operating conditions.

Items a) and b) describe the machine and Items c) and d) depend on the design of the plant and on its operation. Therefore the guarantee for cavitation pitting can be established only by mutual agreement between the customer and the supplier during the planning of the plant or during the contract negotiations.

Negotiating such a guarantee may be done in two ways:

- either the setting of the machine (and therefore the σ value of the plant) is given, and the amount of the cavitation pitting shall be agreed upon with due regard to turbine/pump size, speed, material, surface conditions, operation, etc., (see Figures 1a and 1b, page 9).
- or the amount of the cavitation pitting is limited and the setting of the machine shall be agreed upon (see Figures 1a and 1c, page 9).

In some cases a machine can be operated normally without any cavitation (e.g. Pelton turbines in installations with small head variations, horizontal shaft turbines of storage pump installations, etc.), or may be required to operate without any cavitation, but generally it is more economical to accept a slight amount of cavitation pitting, which means using a higher setting than would be required for operation of the machines without cavitation pitting.

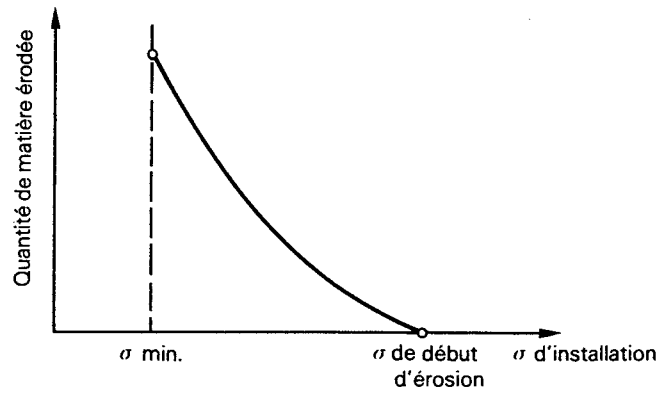


FIGURE 1a

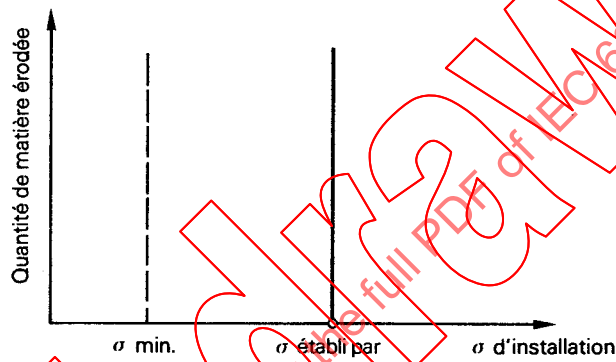


FIGURE 1b

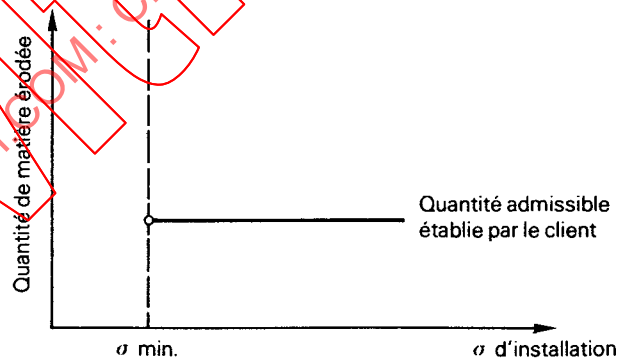


FIGURE 1c

Où: σ min. est la limite de σ due aux effets autres que l'érosion de cavitation, tels que des vibrations inacceptables.

FIG. 1. — Quantité de matière érodée en fonction du σ d'installation pour une machine donnée à débit constant.

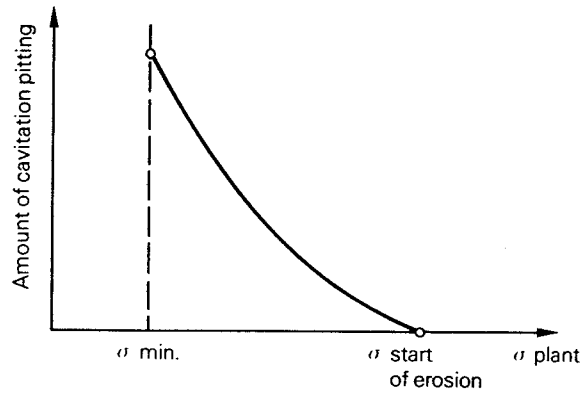


FIGURE 1a

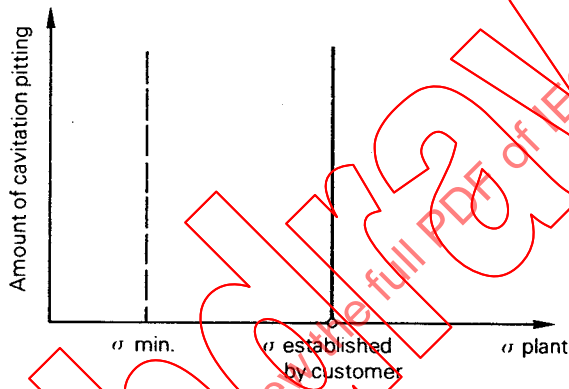


FIGURE 1b

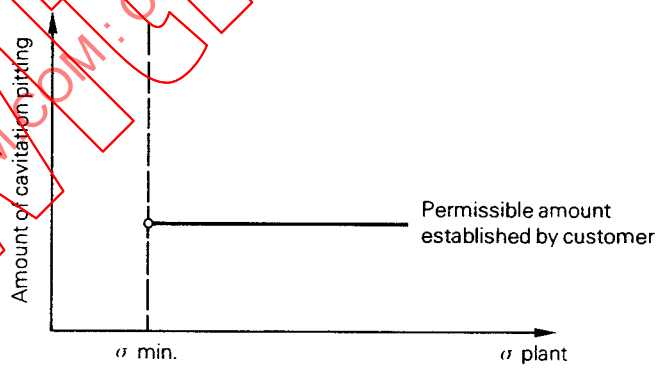


FIGURE 1c

Where: σ min. is the limitation of σ due to effects other than cavitation pitting such as unacceptable vibrations.

FIG. 1. – Amount of cavitation pitting as a function of σ plant for a given machine at constant discharge.

Il n'est pas possible de faire au client des recommandations générales en ce qui concerne la détermination d'une quantité acceptable de matière érodée; les problèmes économiques doivent être étudiés et résolus dans chaque cas particulier. A titre d'exemple, une quantité de matière érodée plus faible nécessite une valeur plus élevée du σ d'installation, c'est-à-dire un calage en hauteur à un niveau plus bas de la machine hydraulique et, en conséquence, des dépenses plus élevées pour les travaux de génie civil. En contrepartie, cela réduit les dépenses et/ou la fréquence de réparation, ainsi que le manque à produire de l'énergie pendant l'arrêt de l'unité. La quantité acceptable de matière érodée peut aussi être influencée par la réparabilité sur le site sans démontage de la machine, par exemple, par la possibilité de réaliser des soudures dépourvues de criques, par la possibilité d'appliquer le traitement thermique voulu, etc.

Des exemples d'extensions d'érosion de cavitation exprimés en profondeur, surface et volume (voir les paragraphes 5.22 à 5.24 et 5.32) en fonction du diamètre D , sont donnés à l'annexe A.

2. Domaine d'application et objet

La présente norme sert de base, d'une part à la formulation des garanties s'appliquant à l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques, et, d'autre part, à la mesure et à l'évaluation de l'extension de l'érosion de cavitation sur certaines parties spécifiées d'une machine donnée, définie dans le contrat par la puissance, la hauteur, la vitesse de rotation, la matière, le fonctionnement, etc. L'évaluation reposera sur la perte de matière durant un temps donné et dans des conditions de fonctionnement définies avec précision.

Le contrat de fourniture devrait stipuler si l'érosion de cavitation est à craindre ou non pour la machine hydraulique dans l'ensemble ou dans certaines des plages de fonctionnement.

Il est nécessaire de prévoir des garanties limitant l'extension de l'érosion de cavitation dans les machines au bout d'une durée de fonctionnement spécifiée dans le contrat chaque fois que l'existence d'érosion de cavitation dans la machine a été admise à la fois par le client et le fournisseur dans les plages de fonctionnement spécifiées.

3. Exclusions et limites

Les autres conséquences que la cavitation pourrait entraîner pour les caractéristiques de fonctionnement de la machine, telles que puissance, rendement, vibration et bruit, ne sont pas prises en compte par la présente norme.

La présente norme suppose que l'eau ne présente aucune agressivité chimique significative et qu'elle est pratiquement dépourvue de particules solides abrasives.

Les garanties de cavitation doivent toutefois être données sur la base d'une analyse de l'eau ayant fait l'objet d'un accord. S'il apparaît au cours d'une analyse ultérieure que l'eau est en fait plus agressive que ne l'indiquait l'analyse ayant fait l'objet d'un accord, on doit en tenir compte lors de la vérification du respect des garanties.

L'abrasion due à la présence de suspensions solides (par exemple du sable) ne peut être considérée comme de l'érosion de cavitation. La teneur de l'eau en matières solides doit être établie avec l'analyse de l'eau et, si elle atteint des proportions importantes, doit faire l'objet d'un accord spécial.

Si l'érosion de cavitation se produit dans des zones où les dommages peuvent être attribués de façon distincte à une corrosion chimique ou électrochimique anormale, à de l'abrasion ou à des chocs, de telles érosions ne seront pas prises en compte dans l'évaluation de l'érosion de cavitation.

It is not possible to make general recommendations to the customer for an acceptable amount of cavitation pitting; economic problems must be investigated and decided upon in each individual case. For example, a smaller amount of cavitation pitting requires a higher σ value for the plant, i.e. a deeper setting of the hydraulic machine and therefore higher costs for civil engineering work. On the other hand it reduces the cost and/or the frequency of repair, as well as the cost of the loss of energy production during the shut-down of the unit. The acceptable amount of cavitation pitting may also be influenced by the feasibility of repair *in situ* without dismantling the machine e.g. by the possibility of crackfree welding, by the possibility of applying the necessary heat treatment, etc.

Examples of amounts of cavitation pitting expressed as depth, area and volume (see Sub-clauses 5.22 to 5.24 and 5.32) as a function of diameter D are given in Appendix A.

2. Scope and object

This standard serves as a basis for the formulation of guarantees applying to cavitation pitting in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, and for the measurement and evaluation of the amount of cavitation pitting on certain specified machine components of a given machine, which is defined in the contract by output, head, speed, material, operation, etc. The evaluation is to be based on the loss of material during a given time and under accurately defined operating conditions.

The supply contract should state whether cavitation pitting on the hydraulic machine should or should not be anticipated in all or in some operating ranges.

Guarantees which restrict the extent of cavitation pitting on the hydraulic machine at the end of an operating period specified in the contract are necessary whenever occurrence of cavitation pitting on the machine has been accepted by both the customer and the supplier for the specified operating ranges.

3. Excluded topics and limitations

Other effects which cavitation may possibly have on the operating characteristics of the machine such as output, efficiency, vibration and noise are not covered by this standard.

It is assumed in this standard that the water is not chemically aggressive to a significant degree and that it is essentially free from abrasive solids.

The cavitation guarantee shall, however, be given on the basis of an agreed water analysis. If it becomes apparent in the course of later analysis that the water is in fact more aggressive than the agreed analysis indicated, this must be taken into consideration when judging whether the given guarantees have been met.

Abrasion due to water contaminated with solids (e.g. sand) cannot be considered as cavitation pitting. The solids content of the water must be stated in the water analysis and, if it reaches significant proportion, must be the subject of a special agreement.

If cavitation pitting occurs in zones where damage can be separately attributable to abnormal chemical or electrochemical corrosion, abrasion or impact, such damage shall be excluded from the evaluation of cavitation.

Si l'érosion de cavitation se produit dans des zones pour lesquelles on peut montrer que la destruction a été accrue par des effets chimiques ou électrochimiques plus importants que ceux qui se produiraient normalement avec une cavitation dans l'eau qui a fait l'objet de l'analyse ayant conduit à un accord, de telles zones ne seront pas prises en compte dans l'évaluation de l'érosion de cavitation.

Les défauts de matière que l'usure superficielle de la machine ferait apparaître durant le fonctionnement ne sont pas pris en compte dans une garantie contre l'érosion de cavitation.

SECTION DEUX – TERMINOLOGIE, SYMBOLES ET DÉFINITIONS

4. Système de mesure

Le Système international d'unités (S.I.) est adopté tout au long de cette norme, mais il est permis d'utiliser d'autres systèmes.

5. Liste des termes employés

La terminologie, les symboles et les définitions employés dans cette norme sont rassemblés ci-dessous:

5.1	<i>Cavitation</i>	Bulles de vapeur qui se forment lorsque le niveau local de pression tombe jusqu'à une valeur avoisinant la tension de vapeur et qui se résorbent quand le niveau local de pression remonte au-dessus de la tension de vapeur
5.2	<i>Erosion de cavitation</i>	Perte de matière due à la cavitation
5.3	σ	Facteur de cavitation (coefficient de Thoma) caractérisant le calage d'une machine hydraulique par rapport au niveau aval ou au niveau d'aspiration (voir la Publication 193A de la CEI: Premier complément à la Publication 193: Code international concernant les essais de réception sur modèle de turbines hydrauliques, paragraphe 5.1.1, et la Publication 497 de la CEI: Code international concernant les essais de réception sur modèle réduit des pompes d'accumulation, paragraphe 57.1.1)
5.4	<i>Période de garantie de cavitation</i>	Nombre de mois ou d'années de service d'une machine pendant lesquels la garantie relative à l'érosion de cavitation est valable
5.5	<i>Durée de fonctionnement de la garantie de cavitation</i>	Nombre d'heures de fonctionnement de la machine pendant lesquelles la garantie relative à l'érosion de cavitation est valable
5.6	<i>Durée de fonctionnement de référence t_R (h)</i>	Nombre d'heures de fonctionnement de la machine, utilisé comme valeur de référence pour l'établissement des garanties relatives à l'érosion de cavitation
5.7	<i>Durée réelle de fonctionnement t_A (h)</i>	Nombre d'heures réel de fonctionnement de la machine au moment de la vérification de l'érosion de cavitation
5.8	P_{CL}	Limite inférieure de puissance en turbine pour un fonctionnement normal continu, spécifiée pour chaque hauteur et chaque niveau aval admissible (figure 2, page 16)
5.9	P_{CU}	Limite supérieure de puissance en turbine pour un fonctionnement normal continu, spécifiée pour chaque hauteur et chaque niveau aval admissible (figure 2)
5.10	P_{TL}	Limite inférieure de puissance en turbine pour un fonctionnement anormal momentané, spécifiée pour chaque hauteur et chaque niveau aval admissible (figure 2)
5.11	P_{TU}	Limite supérieure de puissance en turbine pour un fonctionnement anormal momentané, spécifiée pour chaque hauteur et chaque niveau aval admissible (figure 2)
5.12	H_{CL}	Limite inférieure de hauteur en pompe pour un fonctionnement normal continu, spécifiée pour chaque niveau d'aspiration admissible (figure 3, page 16)

If cavitation pitting occurs in zones where damage can be shown to have been increased by chemical or electrochemical effects additional to those normal to cavitation in water of the agreed analysis, then such zones shall be excluded from the evaluation of cavitation.

Material defects revealed by wear on the machine surfaces during operation are not included in a guarantee against cavitation pitting.

SECTION TWO – TERMS, SYMBOLS AND DEFINITIONS

4. Measuring system

The International System of Units (S.I.) is adopted throughout this standard but other systems are allowed.

5. List of terms

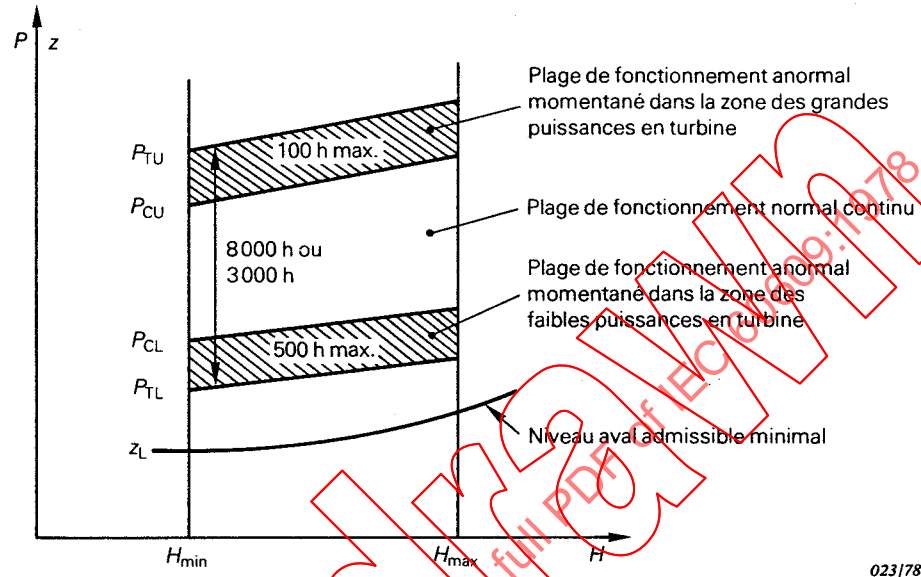
The terms, symbols and definitions adopted in this standard are listed below:

5.1	<i>Cavitation</i>	Vapour bubbles which form when the level of local pressure drops to approximately that of vapour pressure and which collapse when the level of local pressure rises above that of vapour pressure
5.2	<i>Cavitation pitting</i>	Loss of material caused by cavitation
5.3	σ	Cavitation factor (Thoma's coefficient) characterizing the setting of a hydraulic machine referred to the tailwater level or suction water level (see IEC Publication 193A, First supplement to IEC Publication 193, International Code for Model Acceptance Tests of Hydraulic Turbines, Sub-clause 5.1.1, and IEC Publication 497, International Code for Model Acceptance Tests of Storage Pumps, Sub-clause 57.1.1)
5.4	<i>Cavitation guarantee period</i>	Number of months or years of service of a machine during which the cavitation pitting guarantee is valid
5.5	<i>Cavitation guarantee duration of operation</i>	Number of machine operating hours during which the cavitation pitting guarantee is valid
5.6	<i>Reference duration of operation t_R (h)</i>	Number of machine operating hours used as a reference value for establishing cavitation pitting guarantees
5.7	<i>Actual duration of operation t_A (h)</i>	The actual number of machine operating hours at the time of cavitation pitting examination
5.8	P_{CL}	Lower turbine power limit for normal continuous operation specified for each head and each permissible tailwater level (Figure 2, page 17)
5.9	P_{CU}	Upper turbine power limit for normal continuous operation specified for each head and each permissible tailwater level (Figure 2)
5.10	P_{TL}	Lower turbine power limit for temporary abnormal operation specified for each head and each permissible tailwater level (Figure 2)
5.11	P_{TU}	Upper turbine power limit for temporary abnormal operation specified for each head and each permissible tailwater level (Figure 2)
5.12	H_{CL}	Lower pump head limit for normal continuous operation specified for each permissible suction water level (Figure 3, page 17)

5.13	H_{CU}	Limite supérieure de hauteur en pompe pour un fonctionnement normal continu, spécifiée pour chaque niveau d'aspiration admissible (figure 3, page 16)
5.14	H_{TL}	Limite inférieure de hauteur en pompe pour un fonctionnement anormal momentané, spécifiée pour chaque niveau d'aspiration admissible (figure 3)
5.15	Q_{TL}	Limite inférieure de débit en pompe pour un fonctionnement anormal momentané, spécifiée pour chaque niveau d'aspiration admissible (figure 3)
5.16	z_L	Niveau aval (en turbine) ou d'aspiration (en pompe) admissible minimal (figures 2 et 3, page 16)
5.17	Plage de fonctionnement normal continu	Limitée a) en turbine par P_{CL} et P_{CU} (figure 2) b) en pompe par H_{CL} et H_{CU} (figure 3)
5.18	Plage de fonctionnement anormal momentané de grande puissance en turbine	Limitée par P_{CU} et P_{TU} (figure 2)
5.19	Plage de fonctionnement anormal momentané de faible puissance en turbine	Limitée par P_{CL} et P_{TL} (figure 2)
5.20	Plage de fonctionnement anormal momentané de faible hauteur en pompe	Limitée par H_{CL} et H_{TL} (figure 3)
5.21	Plage de fonctionnement anormal momentané de grande hauteur en pompe	Limitée par H_{CU} et Q_{TL} (figure 3)
5.22.1	S (cm)	Profondeur maximale absolue d'une surface érodée quelconque mesurée à partir de la surface d'origine
5.22.2	S_1, S_2, S_3 , etc. (cm)	Profondeur maximale d'une surface érodée particulière mesurée à partir de la surface d'origine
5.23.1	A (cm ²)	Surface totale détruite par érosion de cavitation et définie, soit a) comme l'ensemble des surfaces détruites par érosion de cavitation et nécessitant une réparation (y compris celle qui ne nécessitait qu'un meulage), soit b) comme les seules surfaces présentant une profondeur d'érosion supérieure à une profondeur stipulée et fixée d'un commun accord, soit c) comme les seules surfaces qui nécessitent une réparation par apport de soudure
5.23.2	A_1, A_2, A_3 , etc. (cm ²)	Surfaces individuelles détruites par érosion de cavitation et définies comme ci-dessus
5.24	V (cm ³)	Volume de matière enlevée par érosion de cavitation
5.25	k k_1, k_2, k_3 , etc.	Coefficients utilisés dans le calcul approché du volume comme indiqué au paragraphe 10.3.2
5.26	m_{E1}	Masse d'électrode nécessaire pour réparer les dégâts dus à l'érosion de cavitation, en apportant les corrections convenables comme indiqué au paragraphe 10.3.3, points a) et b)
5.27	Q_{E1}	Masse volumique du matériau d'électrode nécessaire pour réparer les dégâts dus à l'érosion de cavitation
5.28	Nombre d'heures de travail nécessaire pour réparer les dégâts dus à l'érosion de cavitation t_w (h)	Nombre d'heures nécessaires à la préparation des surfaces érodées avant réparation, au préchauffage, à la soudure et à la finition, mais ne comprenant pas le temps nécessaire à l'accès aux surfaces érodées (pour le démontage de la machine), au dressage des échafaudages annexes, à la vérification par l'exploitant des surfaces réparées, au remontage de la machine et à sa mise en fonctionnement
5.29	k_w	Coefficient utilisé pour le calcul des heures de travail comme indiqué au paragraphe 10.3.4
5.30	C_R (cm, cm ² , cm ³)	Limite garantie de l'extension de l'érosion de cavitation pour la durée de fonctionnement de référence

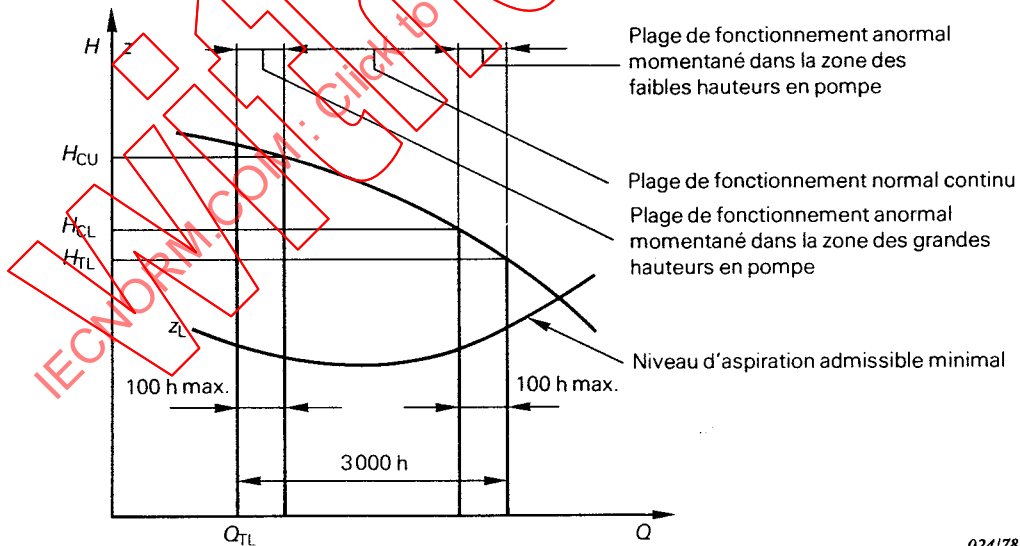
5.13	H_{CU}	Upper pump head limit for normal continuous operation specified for each permissible suction water level (Figure 3, page 17)
5.14	H_{TL}	Lower pump head limit for temporary abnormal operation specified for each permissible suction water level (Figure 3)
5.15	Q_{TL}	Lower pump delivery limit for temporary abnormal operation specified for each permissible suction water level (Figure 3)
5.16	z_L	Lowest permissible tailwater level (Figure 2, page 17) or suction water level (Figure 3)
5.17	<i>Continuous normal operating range</i>	Limited a) for turbines by P_{CL} and P_{CU} (Figure 2) b) for pumps by H_{CL} and H_{CU} (Figure 3)
5.18	<i>High turbine load temporary abnormal operating range</i>	Limited by P_{CU} and P_{TU} (Figure 2)
5.19	<i>Low turbine load temporary abnormal operating range</i>	Limited by P_{CL} and P_{TL} (Figure 2)
5.20	<i>Low pump head temporary abnormal operating range</i>	Limited by H_{CL} and H_{TL} (Figure 3)
5.21	<i>High pump head temporary abnormal operating range</i>	Limited by H_{CU} and Q_{TL} (Figure 3)
5.22.1	S (cm)	The absolute maximum depth of any pitted area measured from the original surface
5.22.2	S_1, S_2, S_3 , etc. (cm)	The maximum depth of a particular pitted area measured from the original surface
5.23.1	A (cm ²)	Total area damaged by cavitation pitting defined, either a) as all areas damaged by cavitation pitting which require repair (including those which only require grinding), or b) only such areas where a stipulated mutually agreed depth has been exceeded, or c) only such areas which require repair by welding
5.23.2	A_1, A_2, A_3 , etc. (cm ²)	Individual areas damaged by cavitation pitting defined as above
5.24	V (cm ³)	Volume of material removed by cavitation pitting
5.25	k, k_1, k_2, k_3 , etc.	Coefficients used in approximative calculation of volume as indicated in Sub-clause 10.3.2
5.26	m_{E1}	Mass of welding electrode material required for repair of the cavitation pitting damage with suitable correction as indicated in Sub-clause 10.3.3, Items a) and b)
5.27	Q_{E1}	Density of electrode material required for repair of cavitation pitting damage
5.28	<i>Working hours required for the repair of the cavitation pitting damage</i> t_w (h)	Working hours required to prepare damaged areas for repair, for preheating, for welding and for finishing, but excluding the time required to make the damaged areas accessible (for the dismantling of the machine), to erect auxiliary scaffolding, to check the repaired areas by the user of the equipment, to reassemble the machine and to put it into operation
5.29	k_w	Coefficient used in calculation of working hours as indicated in Sub-clause 10.3.4
5.30	C_R (cm, cm ² , cm ³)	Guaranteed limit of the amount of cavitation pitting for the reference duration of operation

5.31	C_A (cm, cm ² , cm ³)	Limite garantie de l'extension de l'érosion de cavitation au moment de la vérification de l'érosion de cavitation
5.32	D (m)	Diamètre d'extrémité des pales de la roue dans le cas des turbines Kaplan et hélice Diamètre de sortie de la roue dans le cas des turbines Francis Diamètre d'entrée de la roue dans le cas des pompes d'accumulation et des pompes-turbines fonctionnant en pompe



023/78

FIG. 2 – Plages de fonctionnement pour les turbines.



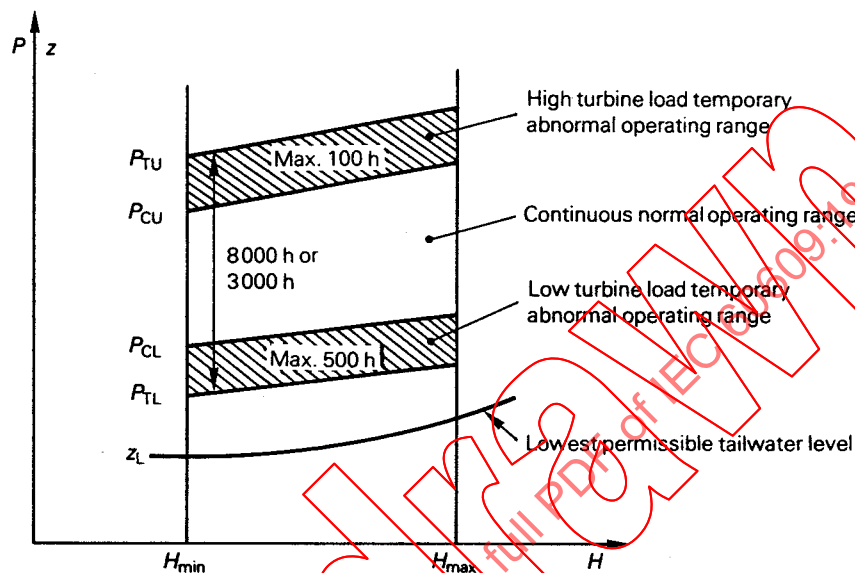
024/78

FIG. 3. – Plages de fonctionnement pour les pompes d'accumulation et les pompes-turbines durant le fonctionnement en pompe.

Pour les nombres d'heures de fonctionnement, voir l'article 8.

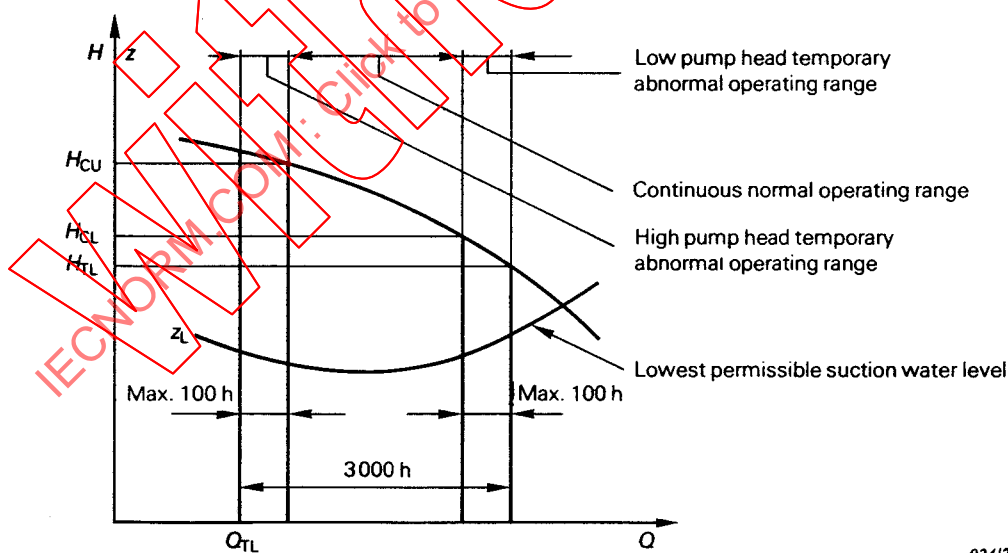
La forme des courbes présentées sur les figures ci-dessus n'est qu'indicative. En particulier, la courbe du niveau aval minimal peut différer de façon sensible de celle du présent exemple. Dans certains cas, elle peut même conduire à des courbes différentes relatives à P_{CU} , P_{CL} , et à des charges intermédiaires.

5.31	C_A (cm, cm ² , cm ³)	Guaranteed limit of the amount of cavitation pitting at the time of cavitation pitting examination
5.32	D (m)	In the case of Kaplan and propeller turbines, the runner blade tip diameter In the case of Francis turbines, the outlet diameter of the runner In the case of storage pumps and pump-turbines during pumping operation, the inlet diameter of the impeller



023/78

FIG. 2. – Operating ranges for turbines.



024/78

FIG. 3. – Operating ranges for storage pumps and pump-turbines during pumping operation.

For number of operating hours, see Clause 8.

The form of curves shown in the above figures is indicative only. In particular the curve of lowest tailwater may differ significantly from the example and in some cases may involve separate curves related to P_{CU} , P_{CL} , and intermediate loads.

SECTION TROIS – NATURE ET ÉTENDUE DES GARANTIES RELATIVES À L'ÉROSION DE CAVITATION

6. Période de garantie

A moins qu'il n'en soit convenu autrement, la période de garantie de cavitation ou la durée de fonctionnement de la garantie de cavitation seront les mêmes que la période de garantie fixée d'un commun accord dans le contrat pour la machine hydraulique dans son ensemble.

7. Définition de l'extension de l'érosion de cavitation

Le contrat de fourniture devrait comporter des stipulations régissant:

- a) l'extension de l'érosion de cavitation à ne pas dépasser pendant une durée de fonctionnement de référence définie conformément au paragraphe 8.1, et
- b) les méthodes de mesure et de calcul à employer pour vérifier que la garantie est respectée conformément à l'article 10.

L'extension garantie pour l'érosion de cavitation peut se référer à une limitation, soit de la profondeur maximale S (conformément au paragraphe 5.22), soit de la surface A (conformément au paragraphe 5.23 avec l'une des possibilités a), b) ou c) comme indiqué), soit du volume perdu V (conformément au paragraphe 5.24) ou à une limitation de deux ou trois de ces trois grandeurs.

Autre possibilité, la garantie peut se référer soit à une limitation de la masse d'électrode nécessaire à la réparation des dégâts dus à l'érosion de cavitation (conformément au paragraphe 5.26), soit à une limitation du nombre d'heures de travail nécessaire à la réparation des dégâts dus à l'érosion de cavitation (conformément au paragraphe 5.28), ces deux limitations pouvant être reliées à une garantie limitant V comme indiqué aux paragraphes 10.3.3, points a) et b), et 10.3.4.

8. Plages et durée de fonctionnement

Pour établir une garantie relative à l'érosion de cavitation et pour vérifier si elle a été satisfaite ou non, il est nécessaire de spécifier avec précision les plages admissibles de fonctionnement de la machine en termes de hauteur, de puissance et de niveau aval ou d'aspiration (voir les figures 2 et 3, page 16) en même temps que les durées de fonctionnement de référence correspondantes.

Les puissances, hauteurs, niveaux aval ou d'aspiration et heures de fonctionnement doivent être enregistrés durant la période de garantie. Le fournisseur devra obtenir la possibilité de vérifier que les conditions dont il a été convenu sont respectées.

8.1 Durée de fonctionnement de référence

A moins qu'il n'en soit convenu autrement, on utilisera les durées de fonctionnement de référence suivantes (indépendamment de la période de garantie) comme base pour établir et vérifier les garanties relatives à l'érosion de cavitation:

- a) pour les machines fonctionnant avec un facteur d'utilisation élevé,
par exemple les turbines fournissant de l'énergie de base: 8 000 h de fonctionnement
- b) pour les machines fonctionnant avec un faible facteur d'utilisation,
par exemple les turbines produisant de l'énergie de pointe, les
pompes d'accumulation et les pompes-turbines durant la marche
en pompage: 3 000 h de fonctionnement

SECTION THREE – NATURE AND EXTENT OF CAVITATION PITTING GUARANTEES

6. Period of guarantee

Unless otherwise agreed the cavitation guarantee period or the cavitation guarantee duration of operation shall be the same as that agreed in the contract for the hydraulic machine as a whole.

7. Definition of the amount of cavitation pitting

The supply contract should include stipulations governing:

- a) the amount of cavitation pitting which shall not be exceeded during an agreed reference duration of operation determined in accordance with Sub-clause 8.1, and
- b) the methods of measurement and calculations to be used for checking fulfillment of the guarantee in accordance with Clause 10.

The guaranteed amount of cavitation pitting may refer to a limitation either of the maximum depth S (as defined in Sub-clause 5.22) or the area A (as defined in Sub-clause 5.23 with either alternative a), b) or c) as specified) or the volume removed V (as defined in Sub-clause 5.24) or to a limitation of any two or all three of these quantities.

Alternatively, the guarantee may refer either to a limitation of the mass of welding electrode required for the repair of the cavitation pitting damage (as defined in Sub-clause 5.26) or to a limitation of the number of working hours required for the repair of the cavitation pitting damage (as defined in Sub-clause 5.28) both of these limitations can be related to a guarantee limiting V as shown in Sub-clauses 10.3.3, Items a) and b), and 10.3.4.

8. Operating ranges and duration of operation

In order to establish a cavitation pitting guarantee and to check whether or not it has been met, it is necessary to specify accurately the permissible machine operating ranges in terms of head, output and tailwater or suction water level (see Figures 2 and 3, page 17) together with the corresponding reference durations of operation.

The outputs, heads, tailwater or suction water levels and operating hours shall be recorded during the guarantee period. The supplier shall be given the opportunity to check whether the agreed conditions have been respected.

8.1 Reference duration of operation

Unless otherwise agreed, the following reference durations of operation (irrespective of the guarantee period) shall be used as the basis for establishing and checking the cavitation pitting guarantees:

- a) for machines operating with a high load factor such as base load turbines: 8 000 operating hours
- b) for machines operating with a low load factor such as peak load turbines, storage pumps, pump-turbines during pumping operation: 3 000 operating hours

8.2 Durée réelle de fonctionnement

Tout temps de fonctionnement antérieur à la vérification de l'érosion de cavitation doit être extrait des enregistrements de fonctionnement de la centrale et divisé en temps partiels correspondant aux marches dans la plage de fonctionnement normal continu et dans les plages de fonctionnement anormal momentané de grande et faible puissance (en turbine) ou hauteur (en pompe).

A moins qu'il n'en soit convenu autrement, la garantie de cavitation doit devenir nulle si les durées de fonctionnement suivantes sont dépassées à l'intérieur de la durée réelle de fonctionnement.

a) pour les turbines

dans la plage de fonctionnement anormal momentané de grande puissance en turbine, définie au paragraphe 5.18 100 h

dans la plage de fonctionnement anormal momentané de faible puissance en turbine, définie au paragraphe 5.19 500 h

b) pour les pompes d'accumulation et les pompes-turbines durant le fonctionnement en pompe:

dans la plage de fonctionnement anormal momentané de faible hauteur en pompe, définie au paragraphe 5.20 100 h

dans la plage de fonctionnement anormal momentané de grande hauteur en pompe, définie au paragraphe 5.21 100 h

8.3 Conditions spéciales

Les intervalles de temps nécessaires aux opérations de démarrage et d'arrêt de la machine hydraulique seront compris dans la durée réelle de fonctionnement. Le fonctionnement d'une turbine pour des puissances inférieures à P_{TL} ou d'une pompe pour des débits inférieurs à Q_{TL} sera limité aux phases de démarrage et d'arrêt. Les périodes pendant lesquelles la machine hydraulique fonctionne dénoyée ne seront pas comprises dans la durée réelle de fonctionnement.

Le fonctionnement de turbines à pales et aubes directrices orientables en dehors de la conjugaison provisoire ou définitive mise en place par le fournisseur pour la plage de hauteur contractuelle nécessite un accord particulier. Le fournisseur sera en droit d'essayer et de mettre au point la conjugaison provisoire dans un délai raisonnable fixé d'un commun accord.

En ce qui concerne les pompes-turbines à aubes directrices orientables, le fonctionnement en pompe aura lieu pour l'ouverture prescrite des aubes directrices en fonction de la hauteur, pour que la garantie de cavitation reste valable.

SECTION QUATRE – MODALITÉS D'EXÉCUTION DES ESSAIS

9. Réparation prématurée des dégâts dus à la cavitation

Le fournisseur doit avoir la possibilité de vérifier la machine après une durée de fonctionnement raisonnable à fixer d'un commun accord avec le client, et d'effectuer, pendant une période fixée d'un commun accord, tout travail qu'il considère nécessaire. Si, avant l'expiration de la période de garantie, le fournisseur effectue des réparations importantes en raison des dégâts dus à la cavitation et/ou modifie la forme de certains éléments risquant d'être soumis à la cavitation, la durée réelle de fonctionnement définie au paragraphe 5.7 – sur laquelle l'évaluation de l'extension de l'érosion de cavitation est fondée – devra être comptée à partir de la date à laquelle la machine est remise en fonctionnement et la période de garantie de cavitation sera, si nécessaire, étendue d'autant. Si de telles réparations ou modifications sont de peu d'importance, la période de garantie de cavitation peut être d'un commun accord considérée comme non interrompue.

8.2 Actual duration of operation

All operating time up to the time of cavitation pitting examination shall be taken from the station operating records and separated into periods of time for running within the continuous normal operating range and in the high and low temporary abnormal operating ranges.

Unless otherwise agreed, the cavitation guarantee shall become invalid if the following durations of operation are exceeded within the actual duration of operation.

a) for turbines:

in the high turbine load temporary abnormal operating range, as defined in Sub-clause 5.18	100 h
in the low turbine load temporary abnormal operating range, as defined in Sub-clause 5.19	500 h

b) for storage pumps and for pump turbines during pumping operation:

in the low pump head temporary abnormal operating range, as defined in Sub-clause 5.20	100 h
in the high pump head temporary abnormal operating range as defined in Sub-clause 5.21	100 h

8.3 Special conditions

The times required for the start-up and shut-down operations of the hydraulic machine shall be included in the actual duration of operation. Operation of a turbine below P_{TL} or a pump below Q_{TL} should be limited to starting and stopping sequences. The times during which the hydraulic machine is operating with the runner or impeller rotating in air shall be excluded from the actual duration of operation.

Operation of turbines with movable blades and guide vanes out of the temporary or final combination, installed by the supplier for the contractual head range, requires a special agreement. The supplier shall be entitled to test and adjust the temporary combination in a reasonable time fixed by mutual agreement.

Pump-turbines with movable guide vanes shall be operated as a pump at the prescribed guide vane opening with respect to head, if the cavitation guarantee is to remain valid.

SECTION FOUR – TEST PROCEDURE

9. Premature repair of cavitation pitting

The supplier shall be afforded an opportunity to check the machine, after a reasonable operating period to be agreed upon with the customer, and to carry out within an agreed period any work which he considers necessary. If the supplier, prior to the expiration of the guarantee period, makes substantial repairs to cavitation pitting damage and/or makes changes in the shape of components subject to the risk of cavitation, the actual duration of operation as defined in Sub-clause 5.7 – on which the assessment of the extent of the cavitation pitting is based – shall be reckoned from the time the machine is put into operation again and the cavitation guarantee period shall if necessary be extended accordingly. If such repairs or changes are of minor nature, the cavitation guarantee period may, by mutual agreement, be considered as uninterrupted.

10. Mesure et calcul de l'extension de l'érosion de cavitation

A moins qu'il n'en soit convenu autrement, si l'érosion de cavitation est mesurée afin de vérifier que la garantie est respectée, le client et le fournisseur doivent faire de telles mesures en commun. Une telle vérification devrait être faite avant l'expiration de la période de garantie de cavitation ou de la durée de fonctionnement de la garantie spécifiée au contrat.

Avant la mesure de profondeur, les points de mesure de S doivent être meulés jusqu'au matériau sain. Avant la mesure de surface ou de volume, toutes les surfaces érodées par cavitation doivent être soigneusement nettoyées ou, sur accord préalable, préparées par meulage au rechargement par soudure.

- 10.1 *La profondeur maximale* d'une zone érodée doit être déterminée au moyen d'une jauge de profondeur, en utilisant un gabarit ou autre appareil convenable qui, reposant sur les surfaces non érodées de l'élément de machine considéré, reproduit avec une précision satisfaisante le contour d'origine de la surface ayant subi une perte de matière.

L'incertitude de mesure ne doit pas dépasser la plus grande des deux valeurs $\pm 10\%$ de la profondeur maximale ou 1 mm.

- 10.2 *Les diverses zones érodées* devraient être, dans la mesure du possible, délimitées au moyen d'une peinture adéquate – en particulier si les contours sont irréguliers et si la surface présente une courbure dans les trois dimensions – et être reproduites par contact sur un papier stable. La surface indiquée par le papier peut être alors déterminée par planimétrie ou, dans le cas d'un papier millimétré, en comptant les carrés.

L'incertitude de mesure ne doit pas dépasser $\pm 10\%$.

- 10.3 *La perte de matière* sera mesurée à l'aide d'une méthode compatible avec la garantie, comme suit:

- 10.3.1 *par mesure directe* du volume de la pâte plastique de remplissage nécessaire pour reproduire la forme d'origine de la surface non érodée. Dans le cas où l'érosion de cavitation se produit sur des surfaces présentant une courbure dans les trois dimensions, la forme de la surface devrait être vérifiée au moyen de gabarits ou d'autres appareils convenables.

L'incertitude de mesure ne doit pas dépasser $\pm 15\%$.

- 10.3.2 *au moyen d'un calcul approché* qui, à moins qu'il n'en soit convenu autrement, peut être fait avec l'une ou l'autre des formules suivantes:

$$V = \Sigma (k_1 S_1 A_1 + k_2 S_2 A_2 + \dots) \text{ ou}$$

$$V = k \cdot \Sigma (S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots)$$

formule dans laquelle $k_1, k_2 \dots$ ou k peuvent être choisis d'un commun accord en fonction de la forme des zones érodées, soit avec la formule simplifiée:

$$V = 0,5 \cdot S \cdot A$$

- 10.3.3 a) *d'après la masse nette d'électrode nécessaire à la réparation en tenant compte de la quantité de matière éliminée durant le meulage de finition.* Cette réduction peut représenter 30% ou plus selon la forme de la zone érodée à réparer.

10. Measurement and calculation of the amount of cavitation pitting

Unless otherwise agreed and if the amount of cavitation pitting is being measured for the purpose of checking the fulfillment of the guarantee the customer and supplier shall make such measurements jointly. Such a check should be made prior to the expiration of the cavitation guarantee period or guarantee duration of operation specified in the contract.

Prior to measurement of depth, the measuring points of S shall be ground down to sound material. Prior to measurement of area or volume, all areas damaged by cavitation shall be carefully cleaned or by prior agreement prepared for welding by grinding.

- 10.1 *The maximum depth* of a pitted area shall be determined by means of a depth gauge, using a template or other suitable devices which, supported on undamaged areas of the machine part under consideration, reproduce the original contours of the area with satisfactory accuracy in the zone where material has been lost.

The measuring inaccuracy shall not exceed $\pm 10\%$ of maximum depth or 1 mm, whichever is the greater.

- 10.2 *The individual damaged area* should preferably be delineated, using a suitable paint – particularly if the contours are irregular and if the area curves in all three dimensions – and be transferred to stable paper by contact. The area shown on the paper may then be determined by planimetry or, if graph paper is used, by counting the squares.

The measuring inaccuracy shall not exceed $\pm 10\%$.

- 10.3 *The loss of material* shall be measured by a method consistent with the guarantee, as follows:

- 10.3.1 *by direct measurement* of the volume of a plastic filler required to restore the original undamaged surface shape. In the event of damage due to cavitation occurring on areas curving in all three dimensions, the shape of the surface should be checked by means of templates or other suitable devices.

The measuring inaccuracy shall not exceed $\pm 15\%$.

- 10.3.2 *by approximate calculation*, which unless otherwise agreed may be done with either of the following formulae:

$$V = \Sigma (k_1 S_1 A_1 + k_2 S_2 A_2 + \dots) \text{ or}$$

$$V = k \cdot \Sigma (S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots)$$

where the values $k_1, k_2, \dots$ or k may be chosen by mutual agreement depending on the shape of the pitted areas, or with the simplified formula:

$$V = 0.5 \cdot S \cdot A$$

- 10.3.3 a) *on the basis of the net mass of welding electrode material required for the repair work, with a reduction to allow for the amount of material removed during finish grinding.* The reduction may be 30% or more depending on the shape of the damage to be repaired.

Si le contrat ne prévoit aucune indication contraire, la masse m_{E1} peut être calculée à l'aide de la formule:

$$m_{E1} = \rho_{E1} \cdot V$$

où ρ_{E1} est la masse volumique du matériau de l'électrode et V est le volume de matière érodée par cavitation, défini au paragraphe 5.24.

En cas d'utilisation d'électrodes enrobées, la masse de l'enrobage inactif ne devrait pas être prise en compte.

- b) *d'après la masse nette d'électrode nécessaire à la réparation en y incluant la quantité de matière éliminée durant le meulage de finition.*

Si le contrat ne prévoit aucune indication contraire, la masse m_{E1} peut être calculée à l'aide de la formule:

$$m_{E1} = \left(1 + \frac{0,6}{S}\right) \cdot \rho_{E1} \cdot V$$

où ρ_{E1} est la masse volumique du matériau de l'électrode, S la profondeur maximale et V le volume de matière érodée par cavitation défini au paragraphe 5.24. La formule suppose une épaisseur moyenne de matière d'électrode à enlever par meulage de 3 mm et se trouve illustrée sur la figure 4.

En cas d'utilisation d'électrodes enrobées, la masse de l'enrobage inactif ne devrait pas être prise en compte.

10.3.4 *d'après le nombre d'heures de travail nécessaire pour effectuer la réparation des dégâts dus à la cavitation.*

Si le contrat ne prévoit aucune indication contraire, le nombre d'heures de travail t_w peut être calculé à l'aide de la formule:

$$t_w = \frac{k_w}{D} \cdot V$$

où D est le diamètre de roue et V le volume de matière enlevée par cavitation ces deux grandeurs étant définies à l'article 5. La valeur de k_w peut être choisie après accord mutuel entre le client et le fournisseur.

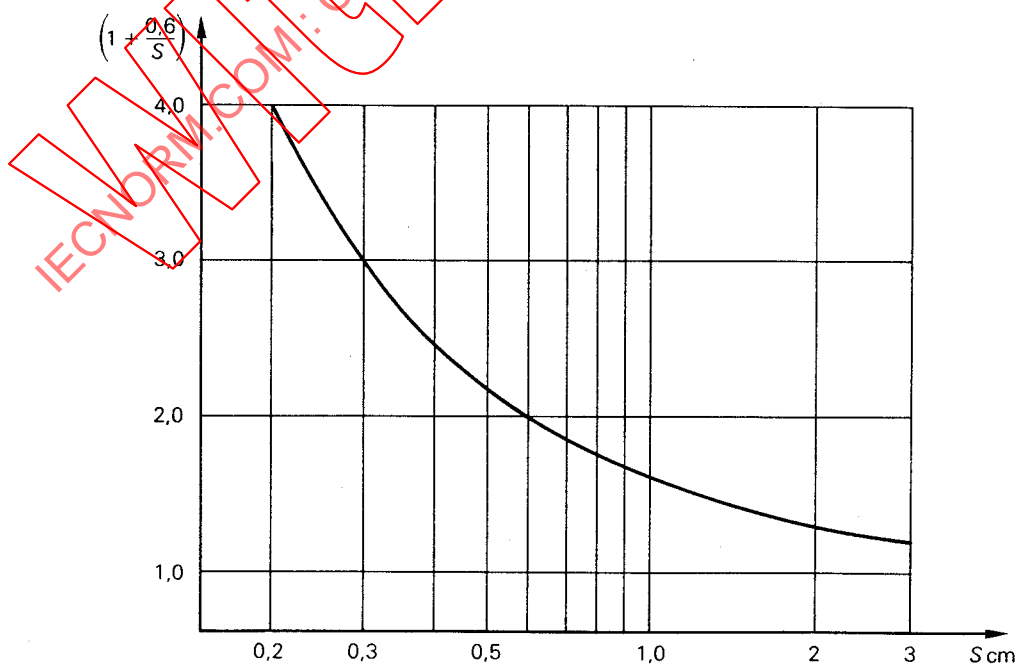


FIG. 4. — Calcul de la masse nette d'électrode nécessaire à la réparation.

If the contract contains no stipulation to the contrary, the mass, m_{E1} , may be calculated using the formula:

$$m_{E1} = \rho_{E1} \cdot V$$

where ρ_{E1} is the density of the electrode material and V is the volume of material removed by cavitation as defined in Sub-clause 5.24.

When coated electrodes are used the mass of the inactive coat should not be considered.

b) *on the basis of the net mass of welding electrode material required for the repair work, including the amount of material removed during finish grinding.*

If the contract contains no stipulation to the contrary, the mass, m_{E1} , may be calculated using the formula:

$$m_{E1} = \left(1 + \frac{0.6}{S}\right) \cdot \rho_{E1} \cdot V$$

where ρ_{E1} is the density of the electrode material, S is the maximum depth and V is the volume of material removed by cavitation as defined in Sub-clause 5.24. The formula is based on the assumption of an average thickness of electrode material to be removed by grinding of 3 mm and is illustrated in Figure 4.

When coated electrodes are used the mass of the inactive coat should not be considered.

10.3.4 *on the basis of the working hours required for the repair of the cavitation damage.*

If the contract contains no stipulation to the contrary, the number of working hours, t_w , may be calculated using the formula:

$$t_w = \frac{k_w}{D} \cdot V$$

where D is the diameter of the runner/impeller and V is the volume of material removed by cavitation both as defined in Clause 5. The value of k_w may be chosen by mutual agreement between the customer and the supplier.

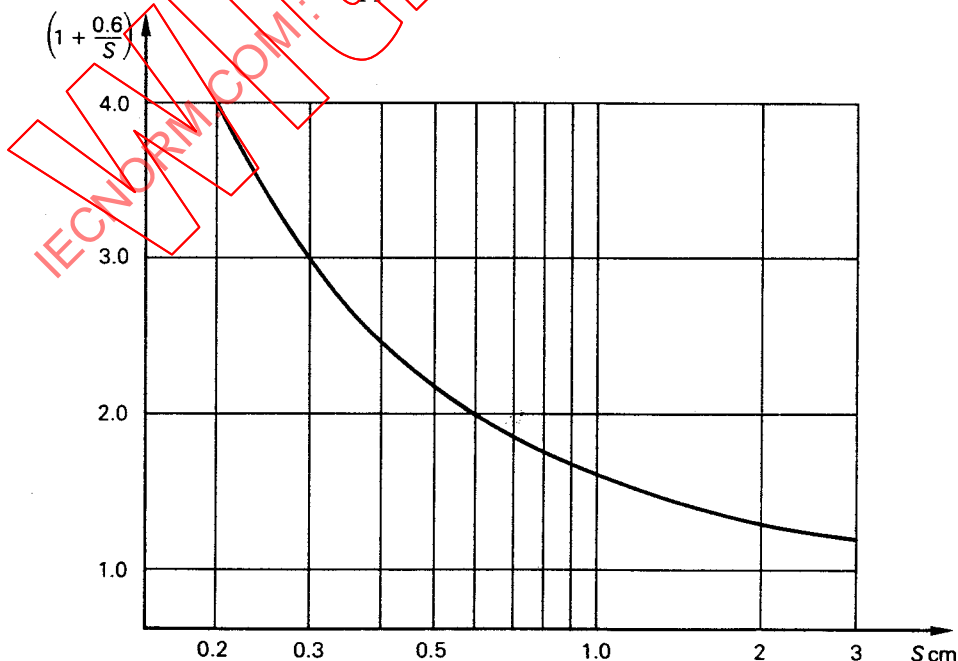


FIG. 4. – Calculation of the net mass of welding electrode required for repair work.