

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60609-1

Première édition
First edition
2004-11

**Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation
et pompes-turbines –
Evaluation de l'érosion de cavitation –**

**Partie 1:
Evaluation dans les turbines à réaction,
les pompes d'accumulation et les
pompes-turbines hydrauliques**

**Hydraulic turbines, storage pumps
and pump-turbines –
Cavitation pitting evaluation –**

**Part 1:
Evaluation in reaction turbines,
storage pumps and pump-turbines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60609-1:2004

Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

Editions 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.

Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

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 cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** (www.iec.ch)
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI (www.iec.ch/searchpub) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues (www.iec.ch/online_news/justpub) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: custserv@iec.ch
Tél: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. 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.

Further information on IEC publications

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 this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. 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 also available from the following:

- **IEC Web Site** (www.iec.ch)
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site (www.iec.ch/searchpub) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications (www.iec.ch/online_news/justpub) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: custserv@iec.ch
Tel: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60609-1

Première édition
First edition
2004-11

**Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation
et pompes-turbines –
Evaluation de l'érosion de cavitation –**

**Partie 1:
Evaluation dans les turbines à réaction,
les pompes d'accumulation et les
pompes-turbines hydrauliques**

**Hydraulic turbines, storage pumps
and pump-turbines –
Cavitation pitting evaluation –**

**Part 1:
Evaluation in reaction turbines,
storage pumps and pump-turbines**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

S

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
1 Domaine d'application et objet	12
1.1 Points exclus et limitations	12
1.2 Considérations concernant la composition chimique de l'eau	12
1.3 Considérations concernant une eau contenant des particules solides	14
1.4 Références normatives	14
2 Terminologie, symboles et définitions	14
2.1 Unités	14
2.2 Liste des termes employés	16
3 Nature et étendue des garanties liées à l'érosion de cavitation	24
3.1 Période de garantie	24
3.2 Définition de l'étendue de l'érosion de cavitation	24
3.3 Domaine et durée de fonctionnement	24
4 Modalités d'exécution	28
4.1 Réparations des dommages dus à la cavitation pendant la période de garantie	28
4.2 Mesures et calcul de l'importance de l'érosion de cavitation	30
5 Evaluation des résultats et respect de la garantie	32
Annexe A (normative) Exemples de valeurs d'étendue d'érosion de cavitation	34
Bibliographie	40
Figure 1 – Etendue de l'érosion de cavitation fonction du sigma	10
Figure 2 – Domaine de fonctionnement pour les turbines et les pompes-turbines en mode turbine	20
Figure 3 – Domaine de fonctionnement pour les pompes d'accumulation et les pompes-turbines en mode pompe	22
Figure A.1 – Exemples de valeurs maximales admissibles de la profondeur d'érosion de cavitation S sur les roues	36
Figure A.2 – Exemples de valeurs maximales admissibles du volume d'érosion de cavitation V sur les roues	38

CONTENTS

FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
1 Scope and object	13
1.1 Excluded topics and limitations	13
1.2 Considerations concerning chemical composition of water	13
1.3 Considerations concerning water containing solids	15
1.4 Normative references	15
2 Terms, definitions and symbols	15
2.1 Units	15
2.2 List of terms	17
3 Nature and extent of cavitation-pitting guarantees	25
3.1 Period of guarantee	25
3.2 Definition of the amount of cavitation pitting	25
3.3 Operating ranges and duration of operation	25
4 Procedures	29
4.1 Repair of cavitation pitting during the guarantee period	29
4.2 Measurement and calculation of the amount of cavitation pitting	31
5 Computation of results and fulfilment of the guarantee	33
Annex A (normative) Examples of amounts of cavitation pitting	35
Bibliography	41
Figure 1 – Amount of cavitation pitting as a function of σ for a given machine at constant discharge	11
Figure 2 – Operating ranges for turbines and pump-turbines during turbine operation	21
Figure 3 – Operating ranges for storage pumps and pump-turbines during pump operation	23
Figure A.1 – Examples of maximum permissible values of cavitation pitting depth for runners/impellers	37
Figure A.2 – Examples of maximum permissible values of cavitation pitting volume for runners/impellers	39

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 1: Evaluation dans les turbines à réaction, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés «Publication(s) de la CEI»). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 60609-1 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Cette norme annule et remplace la CEI 60609, parue en 1978, dont elle constitue une révision technique. Les modifications principales par rapport à la CEI 60609 concernent des contrôles plus serrés pour les valeurs de perte de métal permises. La technologie moderne, bénéficiant de nombreux projets de recherche, permet maintenant d'intégrer des améliorations dans la conception hydraulique, un contrôle numérique plus serré et le choix de matériaux améliorés.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/196/FDIS	4/200/RVD

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES –
CAVITATION PITTING EVALUATION –****Part 1: Evaluation in reaction turbines, storage pumps
and pump-turbines**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60609-1 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

This standard cancels and replaces IEC 60609, published in 1978, and constitutes a technical revision. The main changes with respect to IEC 60609 pertain to tighter controls on reduced permissible values of material loss. Modern technology with accumulated R&D has permitted the integration of improved hydraulic design, better controls from numerical machining and improved choice of materials.

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

FDIS	Report on voting
4/196/FDIS	4/200/RVD

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

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

La CEI 60609 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques*:

Partie 1: Evaluation dans les turbines à réaction, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques

Partie 2: Evaluation dans les turbines Pelton

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<http://webstore.iec.ch>» dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60609-1:2004

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

IEC 60609 consists of the following parts, under the general title *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*:

Part 1: Evaluation in reaction turbines, storage pumps and pump-turbines

Part 2: Evaluation in Pelton turbines

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60609-1:2004

INTRODUCTION

Cette partie de la CEI 60609 traite de l'évaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines hydrauliques à réaction, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines. Alors que la CEI 60609-2, traite de l'évaluation de l'érosion de cavitation des turbines à action (Pelton).

Les garanties concernant l'érosion de cavitation pour les turbines hydrauliques à réaction, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines sont sensiblement différentes des autres garanties de performance définies au contrat, ces dernières représentant les caractéristiques inhérentes de la machine, comme le rendement. L'importance de l'érosion de cavitation dépend pour l'essentiel de cinq facteurs:

- a) le type de machine et sa conception;
- b) les matériaux et l'état de surface des parties soumises à de la cavitation;
- c) l'enfoncement de la machine, c'est-à-dire la valeur du facteur de cavitation sigma (σ) de l'installation;
- d) la durée de fonctionnement et les conditions d'exploitation; et
- e) la qualité de l'eau.

Les points a) et b) concernent la machine alors que les points c), d) et e) dépendent des conditions de fonctionnement de l'installation. En conséquence, la garantie relative à l'érosion de cavitation ne peut être définie que d'un commun accord entre le client et le soumissionnaire pendant la phase de projet de l'installation ou la négociation du contrat. Dans des cas difficiles, comme les modernisations d'installation avec remplacement des roues, ou dans le cas d'un domaine de fonctionnement particulièrement important, il peut être avantageux pour le client de demander que le soumissionnaire présente une garantie couvrant l'érosion de cavitation dans son offre.

Une garantie d'érosion de cavitation peut être établie de deux manières différentes:

- soit, l'enfoncement de la machine (et par conséquent la valeur du σ d'installation) est une donnée du contrat, alors l'étendue de l'érosion de cavitation est convenue d'un commun accord en tenant compte de la taille de la turbine ou de la pompe, de la vitesse de rotation, des matériaux utilisés, de l'état de surface, des conditions de fonctionnement, etc. (voir Figure 1a);
- soit, l'étendue maximale de l'érosion de cavitation est fixée comme une donnée du contrat et l'on convient de l'enfoncement de la machine (voir Figure 1b).

Dans la majorité des cas une machine peut fonctionner normalement sans érosion de cavitation ou bien il est demandé qu'elle fonctionne sans aucune érosion de cavitation. Dans certains cas il peut être plus économique d'accepter une certaine étendue d'érosion de cavitation, ce qui permet de diminuer l'enfoncement par rapport à celui qui serait nécessaire pour éviter toute érosion de cavitation. Toutefois, pour des centrales souterraines le coût d'un enfoncement supplémentaire est généralement relativement bas.

Il n'est pas envisageable de faire des recommandations générales définissant une étendue acceptable de l'érosion de cavitation, en premier lieu car les points a) à e) présentés ci-dessus font que chaque installation est un cas particulier. Dans la mesure du possible il est donc recommandé de faire une évaluation économique pour chaque installation. A titre d'exemple, un enfoncement plus important de la machine (une valeur plus importante du σ d'installation conduisant à un coût de génie civil plus important) et/ou une roue plus chère (par sa conception ou par les matériaux utilisés) peuvent diminuer l'étendue de l'usure par cavitation. Les avantages de ces surcoûts lors de l'achat sont une minimisation du coût de fonctionnement et/ou de la fréquence des réparations, ainsi qu'une réduction de la perte de production liée aux périodes d'arrêt de la machine.

L'Annexe A présente des exemples d'étendue d'érosion de cavitation exprimés en termes de profondeur S et de volume V (voir 2.2.26 et 2.2.27) en fonction du diamètre de roue D .

INTRODUCTION

This part of IEC 60609 covers the subject of cavitation-pitting evaluation for reaction type hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines, while IEC 60609-2 covers the subject of cavitation-pitting evaluation for impulse (Pelton) type turbines.

Guarantees applied to cavitation pitting in hydraulic reaction turbines, storage pumps and pump-turbines are quite different from other performance guarantees stated in the contract documents representing inherent characteristics of the machine, such as efficiency. The extent of cavitation pitting depends essentially on five factors:

- a) type and design of the machine;
- b) material and surface condition of the parts subjected to cavitation;
- c) setting of the machine, i.e. the cavitation factor sigma (σ) value at the plant;
- d) duration of operation and type of operating conditions; and
- e) water quality.

Items a) and b) describe the machine while items c), d) and e) depend on plant operating conditions. Therefore, the guarantee for cavitation pitting can be established only by mutual agreement between the employer and the contractor during the planning of the plant or during the contract negotiations. Under certain severe conditions such as plant upgrades with runner/impeller replacements or wide operating ranges, it may be to the advantage of the employer to request that tenderers submit a guarantee to cover cavitation pitting in their proposals.

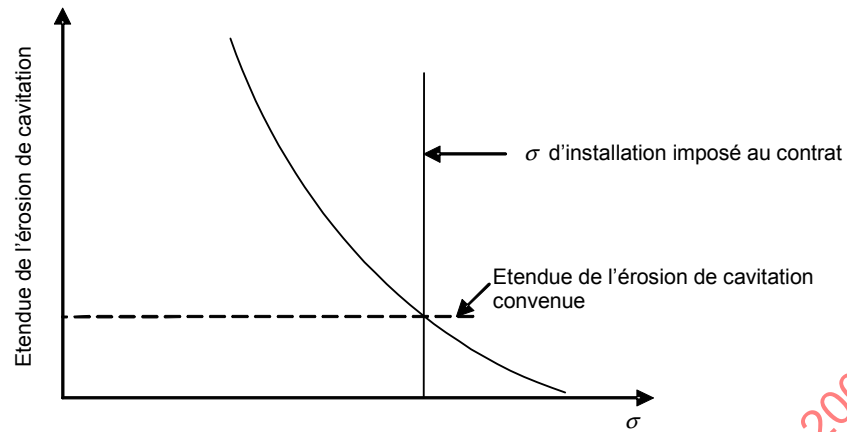
A cavitation-pitting guarantee may be negotiated in two ways:

- either the setting of the machine (and therefore the σ value of the plant) is given in the contract documents, and the amount of the cavitation pitting is agreed upon with due regard to the turbine or pump size, rotational speed, materials, surface conditions, operation, etc. (see Figure 1a);
- or the maximum amount of the cavitation pitting is given and the setting of the machine is agreed upon (see Figure 1b).

In most cases, a machine can be operated normally without cavitation pitting or may be required to operate without cavitation pitting. In some cases, it may be more economical to accept a slight amount of cavitation pitting, which means using a higher setting than would be required for operation of the machine without cavitation pitting. Of course, in the case of underground power stations, the cost of additional submergence is usually relatively low.

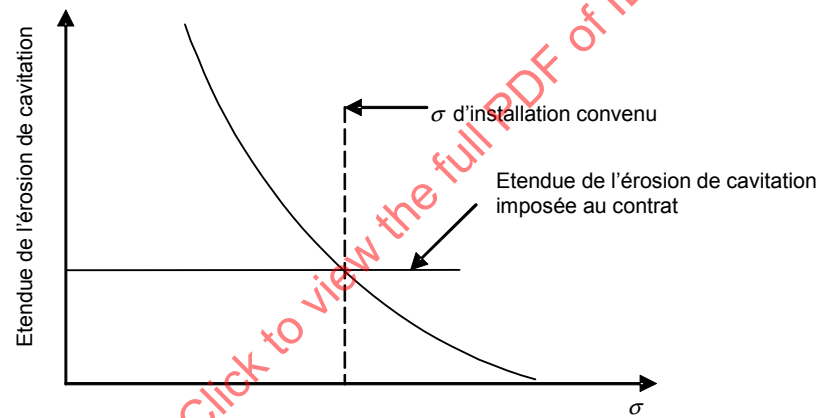
It is not feasible to make general recommendations for an acceptable amount of cavitation pitting primarily because items a) through e) make each plant unique. Economic evaluations, therefore, are recommended for each case as conditions warrant. For example, a deeper setting of the machine (higher σ value for the plant requiring higher cost for civil work) and/or a more expensive runner/impeller (shape and/or material) can reduce the amount of cavitation pitting. The benefits of these higher purchase costs are a reduction in the operating cost and/or frequency of repair, as well as a reduction in lost energy production during the shut-down of the unit.

Examples of amounts of cavitation pitting expressed as depth and volume (see 2.2.26 and 2.2.27) as a function of runner/impeller diameter D are given in Annex A.



IEC 1482/04

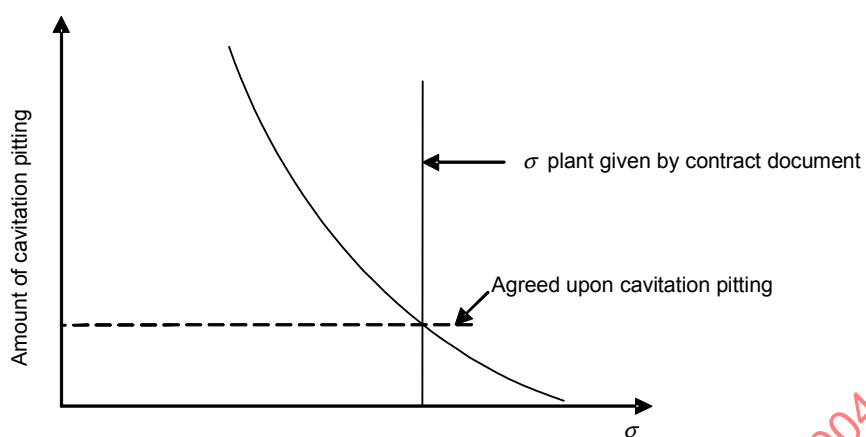
Figure 1a



IEC 1483/04

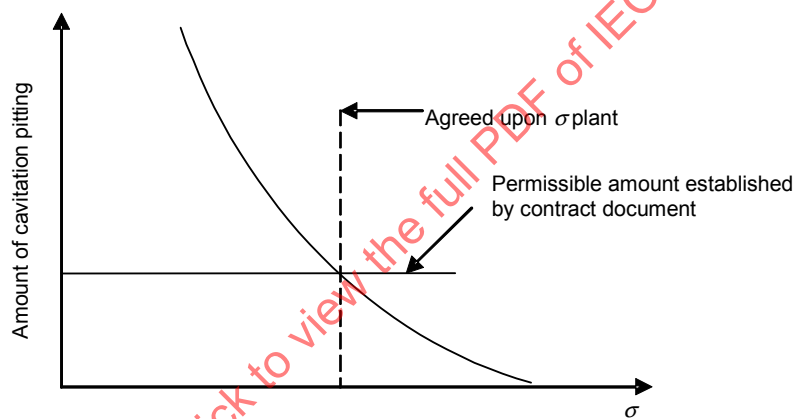
Figure 1b

Figure 1 – Etendue de l'érosion de cavitation fonction du sigma pour une machine donnée à débit donné



IEC 1482/04

Figure 1a



IEC 1483/04

Figure 1b

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

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

Partie 1: Evaluation dans les turbines à réaction, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques

1 Domaine d'application et objet

Cette partie de la CEI 60609 sert de base à l'établissement des garanties d'érosion de cavitation s'appliquant aux turbines hydrauliques à réaction, pompes d'accumulation et pompes-turbines. Elle traite de la mesure et de l'évaluation de l'importance de cette érosion sur divers composants d'une machine pour des conditions définies au contrat: puissance, énergie hydraulique massique (E), vitesse de rotation, nature des matériaux, conditions de fonctionnement, etc.

Pour évaluer l'importance de l'étendue de l'érosion de cavitation on s'appuie sur la perte de matière pendant une période donnée et pour des conditions de fonctionnement définies avec précision. Toutes les surfaces en contact avec l'eau sont prises en compte.

Les documents contractuels doivent stipuler si de l'érosion de cavitation est attendue pour tout ou partie du domaine de fonctionnement.

Des garanties limitant l'étendue de l'érosion par cavitation sont nécessaires au contrat, qu'une érosion soit envisagée ou non.

1.1 Points exclus et limitations

Cette norme ne traite pas des autres effets potentiels de la cavitation sur la machine, effets qui concerneraient à titre d'exemple:

- la puissance, le rendement, les vibrations, la tenue mécanique, et le bruit; ainsi que
- d'éventuels défauts de santé matière apparus pendant l'exploitation.

Les défauts de santé matière révélés par l'usure des surfaces de la machine lors de son fonctionnement ne sont pas à prendre en compte dans la garantie d'érosion de cavitation.

1.2 Considérations concernant la composition chimique de l'eau

On considère dans cette norme que l'eau n'est pas chimiquement agressive. Si toutefois l'eau est chimiquement agressive, la garantie d'érosion de cavitation doit être donnée sur la base d'une analyse d'eau ayant fait l'objet d'un accord préalable. L'agressivité chimique dépendant des nombreuses compositions chimiques possibles ainsi que des matériaux constitutifs de la machine, il n'est pas du ressort de cette norme de fixer des limites particulières dans le cas d'une eau chimiquement agressive.

S'il apparaît, lors d'une analyse ultérieure, que l'eau est en fait plus agressive que ne l'indiquait l'analyse convenue préalablement on doit en tenir compte lors de la vérification du respect des garanties. Si l'érosion intervient dans des zones où les dommages peuvent être attribués séparément à de la corrosion chimique ou électrochimique, ces dommages doivent être exclus de l'évaluation de l'étendue de l'érosion de cavitation. Si l'érosion par cavitation intervient dans des zones où l'on peut démontrer que les dégâts ont été aggravés par des effets chimiques ou électrochimiques additionnels à ceux correspondant à l'analyse d'eau convenue, alors ces zones doivent être exclues de l'évaluation de l'étendue de l'érosion de cavitation.

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

Part 1: Evaluation in reaction turbines, storage pumps and pump-turbines

1 Scope and object

This part of IEC 60609 serves as a basis for the formulation of guarantees applied to cavitation pitting for reaction hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines. It addresses the measurement and evaluation of the amount of cavitation pitting on certain specified machine components for given conditions, which are defined in the contract by output, specific hydraulic energy (E), speed, material, operation, etc.

The cavitation-pitting evaluation is based on the loss of material during a given time and under accurately defined operating conditions. All wetted surfaces are considered.

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

Guarantees that restrict the extent of cavitation pitting are necessary in the contract whether cavitation pitting is anticipated or not.

1.1 Excluded topics and limitations

This standard does not cover other effects which cavitation may possibly have on the machine such as:

- output, efficiency, vibration, mechanical integrity, and noise; and
- material defects revealed during operation.

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

1.2 Considerations concerning chemical composition of water

It is assumed in this standard that the water is not chemically aggressive. In cases where the water is considered to be chemically aggressive, the cavitation-pitting guarantee shall be given on the basis of an agreed water analysis. Since chemical aggressiveness is dependent upon so many possible chemical compositions, and the materials of the machine, it is beyond the scope of this standard to set particular limits.

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 evaluating whether the cavitation-pitting guarantees have been met. If cavitation pitting occurs in zones where damage can be separately attributable to chemical or electrochemical corrosion, such damage shall be excluded from the evaluation of cavitation pitting. If cavitation pitting occurs in zones where damage can be proven 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 pitting.

1.3 Considérations concernant une eau contenant des particules solides

L'abrasion due à de l'eau contenant des matériaux solides (par exemple du sable) ne peut être considérée comme de l'érosion de cavitation. Si une machine fonctionne en présence d'une quantité importante de matériaux solides, la perte de matière sera aggravée par l'action conjointe de l'érosion de cavitation (si elle existe) et de l'abrasion. L'intensité des dégâts dépend de divers facteurs, comme la concentration en sédiment, la composition minérale, la granulométrie, de paramètres définissant l'intensité des impacts (vitesse relative et angle d'incidence) ainsi que des caractéristiques des matériaux utilisés et des conditions d'exploitation de la machine. Une surface altérée par l'abrasion peut soit entraîner de l'érosion de cavitation soit aggraver cette dernière, car la géométrie est modifiée. En ce qui concerne l'évaluation des dommages, il est important de noter que l'apparition, la localisation et les mécanismes d'endommagement sont différents pour les dommages liés à la cavitation et ceux liés à l'abrasion. Si l'érosion de cavitation apparaît dans des zones où les dommages peuvent être attribués séparément à l'abrasion, ces dommages doivent être exclus de l'évaluation de l'étendue de l'érosion de cavitation.

Bien que les exemples de valeurs d'érosion de cavitation et les méthodes de mesure définies dans cette norme ne concernent que les dommages induits par la cavitation, il faut reconnaître que certaines installations hydrauliques fonctionnent, au moins une certaine période de l'année, avec de l'eau contenant une quantité significative de particules solides. Dans la mesure où l'abrasion dépend fortement des paramètres présentés précédemment, il n'est pas du ressort de cette norme de définir une quantité acceptable de matériaux solides dans l'eau.

Les documents du contrat doivent définir le contenu de l'eau en matières solides et, si pertinent le type de minéraux ainsi que la taille des particules solides (sable). Si ce contenu représente une proportion significative, il doit faire l'objet d'un accord spécifique. Cet accord peut considérer séparément les pertes de volume engendrées par érosion de cavitation et par abrasion. Toutefois, en pratique, il est extrêmement difficile de mesurer ces pertes de matière de manière séparée. Il peut donc être préférable que le contractant garantisse la perte de matière comme une combinaison de l'érosion de cavitation et de l'abrasion. La CEI TR 61366-1 traite des aspects liés à l'usure par le sable.

1.4 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60193, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Essais de réception sur modèle*

CEI TR 61366-1, *Turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines – Documents d'appel d'offres – Partie 1: Généralités et annexes* (disponible en anglais seulement)

2 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

2.1 Unités

Le système international d'unités (SI) est utilisé dans cette norme. Toutefois, l'utilisation d'autres systèmes est autorisée.

1.3 Considerations concerning water containing solids

Abrasion due to water contaminated with solids (for example, sand) cannot be considered as cavitation-pitting damage. When a machine operates in water containing a significant amount of solids, the weight loss of material will be intensified due to the joint action of both cavitation pitting (if it exists) and abrasion. The degree of intensifying destruction depends on various aspects, such as sediment concentration, mineral composition, size gradation and impact parameters (i.e. relative velocity and incidence angle) as well as the material characteristics and hydraulic machine operation conditions. When a surface is altered by abrasion erosion, cavitation-pitting damage can be initiated and accelerated because of the hydraulic shape change. With respect to measurement of damage, it is important to realize that, for cavitation erosion damage and abrasion erosion damage, the appearance, position and mechanism of destruction is not similar. If cavitation pitting occurs in zones where damage can be separately attributed to abrasion, such damage shall be excluded from the evaluation of cavitation pitting.

While the examples of amounts of cavitation pitting and measurement methods given in this standard cover cavitation-pitting damage only, it must be recognized that some hydro sites operate in water that contains significant amounts of solids for at least some portion of the year. Since erosion due to abrasion is so dependent on the above-mentioned parameters, it is beyond the scope of this standard to define an acceptable amount of solids content.

The contract documents shall describe the solids content of the water and, if relevant, the types of minerals and size of solid (sand) particles in the water analysis and, if it reaches significant proportion, shall be the subject of a special agreement. This agreement could consider the volume loss caused by cavitation pitting and abrasion erosion separately. However, in practice it is extremely difficult to measure them separately. It may be preferable that the contractor guarantee the material loss as a combination of cavitation pitting and abrasion. Aspects of abrasion wear by sand erosion are dealt with in IEC 61366-1.

1.4 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60193, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Model acceptance tests*

IEC TR 61366-1, *Hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines – Tendering documents – Part 1: General and annexes*

2 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

2.1 Units

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

2.2 Termes et définitions

Les termes, les symboles et les définitions employés dans cette norme sont présentés ci-dessous.

NOTE Ils sont aussi basés, si pertinents, sur la CEI 61364.

2.2.1	cavitation	bulles de vapeur qui se forment lorsque le niveau local de pression s'abaisse 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
2.2.2	érosion de cavitation	perte de matière due à la cavitation
2.2.3	σ	facteur de cavitation (nombre de Thoma) caractérisant l'enfoncement de la machine hydraulique par rapport au niveau aval ou au niveau d'aspiration (voir la CEI 60193)
2.2.4	période de garantie d'érosion de cavitation	nombre de mois ou d'années de fonctionnement de la machine pendant lesquels la garantie relative à l'érosion de cavitation est valable
2.2.5	durée de fonctionnement couverte par la garantie de cavitation	nombre d'heures de fonctionnement de la machine pendant lesquelles la garantie relative à l'érosion de cavitation est valable
2.2.6	durée de fonctionnement de référence t_R (h)	nombre d'heures de fonctionnement de la machine, utilisé comme valeur de référence pour l'établissement des garanties relatives à l'érosion de cavitation
2.2.7	durée réelle de fonctionnement t_A (h)	nombre réel d'heures de fonctionnement de la machine au moment de la vérification de l'érosion de cavitation
2.2.8	P_{CL}	limite inférieure de puissance pour un fonctionnement continu spécifié pour chaque énergie hydraulique massique et chaque <i>NPSE</i> autorisé (Figure 2)
2.2.9	P_{CU}	limite supérieure de puissance pour un fonctionnement continu spécifié pour chaque énergie hydraulique massique et chaque <i>NPSE</i> autorisé (Figure 2)
2.2.10	P_{TL}	limite inférieure de puissance pour un fonctionnement temporaire spécifié pour chaque énergie hydraulique massique et chaque <i>NPSE</i> autorisé (Figure 2)
2.2.11	P_{TU}	limite supérieure de puissance pour un fonctionnement temporaire spécifié pour chaque énergie hydraulique massique et chaque <i>NPSE</i> autorisé (Figure 2)
2.2.12	$E(\text{Jkg}^{-1})$	Energie hydraulique massique de la machine, $E = gH$, voir 2.2.14 et pour plus de détails, voir la CEI 60193.
2.2.13	$g (\text{ms}^{-2})$	Accélération due à la pesanteur pour l'installation considérée, pour plus de détails, voir la CEI 60193.
2.2.14	H (m)	Hauteur de chute nette de la machine $h = E/g$
2.2.15	$NPSE(\text{Jkg}^{-1})$	Energie massique nette à l'aspiration en fonctionnement, pour plus de détails, voir la CEI 60193.
2.2.16	E_{CL}	Limite inférieure de l'énergie hydraulique massique pour le fonctionnement normal continu spécifié pour chaque <i>NPSE</i> autorisé (Figures 2 et 3)

2.2 Terms and definitions

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

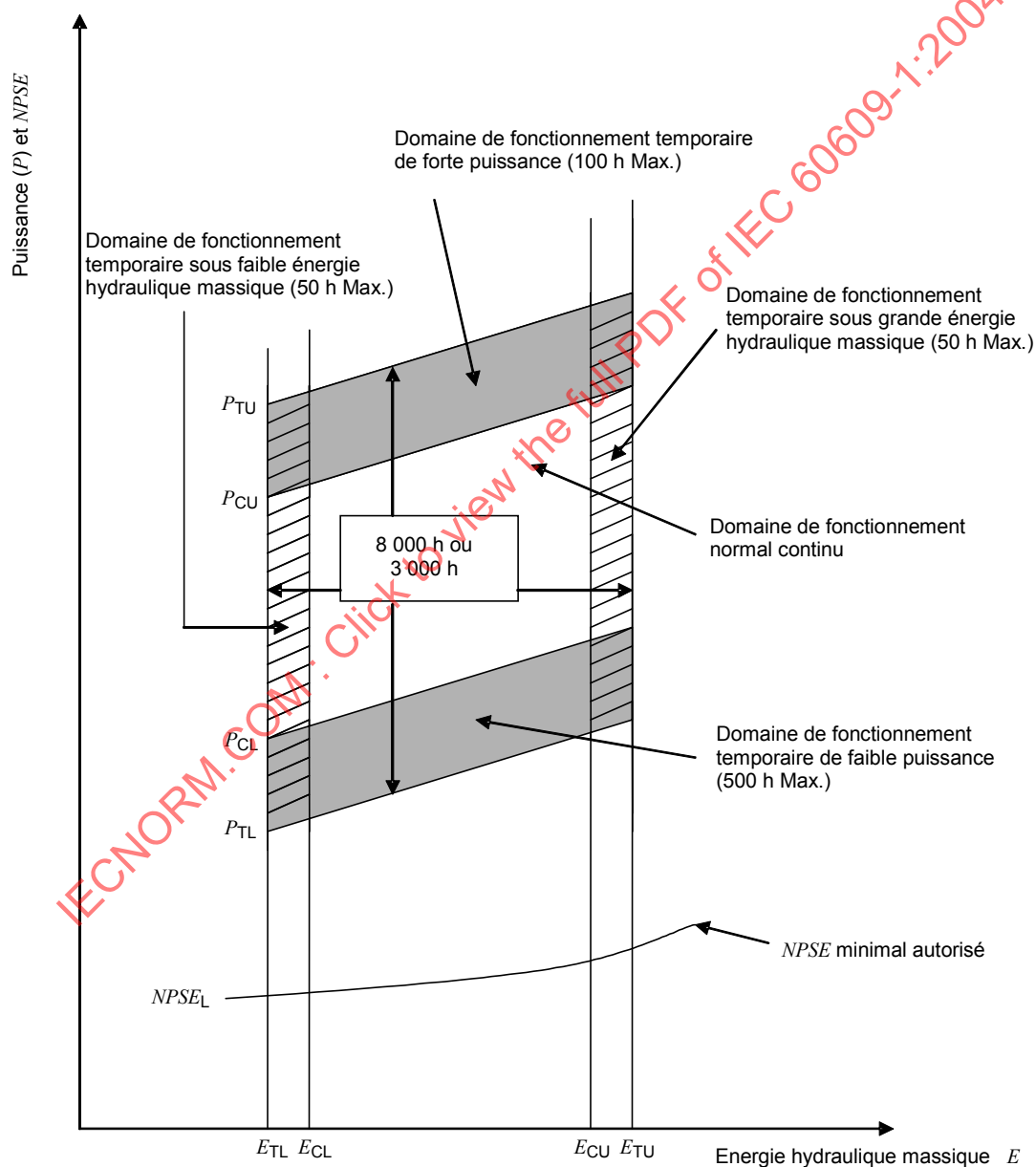
NOTE They are also based, where relevant, on IEC 61364.

2.2.1	cavitation	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
2.2.2	cavitation pitting	loss of material caused by cavitation
2.2.3	σ	cavitation factor (Thoma number) characterizing the setting of a hydraulic machine referred to the tailwater level or suction water level (see IEC 60193)
2.2.4	cavitation pitting guarantee period	number of months or years of service of a machine during which the cavitation pitting guarantee is valid
2.2.5	cavitation pitting guarantee duration of operation	number of machine operating hours during which the cavitation pitting guarantee is valid
2.2.6	reference duration of operation t_R (h)	number of machine operating hours used as a reference value for establishing cavitation-pitting guarantees
2.2.7	actual duration of operation t_A (h)	the actual number of machine operating hours at the time of cavitation-pitting examination
2.2.8	P_{CL}	lower limit of turbine power for continuous operation specified for each specific hydraulic energy and each permissible $NPSE$ (see Figure 2)
2.2.9	P_{CU}	upper limit of turbine power for continuous operation specified for each specific hydraulic energy and each permissible $NPSE$ (see Figure 2)
2.2.10	P_{TL}	lower limit of turbine power for temporary operation specified for each specific hydraulic energy and each permissible $NPSE$ (see Figure 2)
2.2.11	P_{TU}	upper limit of turbine power for temporary operation specified for each specific hydraulic energy and each permissible $NPSE$ (see Figure 2)
2.2.12	$E(\text{Jkg}^{-1})$	specific hydraulic energy of machine, $E = gH$ (see 2.2.14 and for full information, see IEC 60193)
2.2.13	$g(\text{ms}^{-2})$	acceleration due to gravity for the considered plant (for full information, see IEC 60193)
2.2.14	$H(\text{m})$	head of machine $H = E/g$
2.2.15	$NPSE(\text{Jkg}^{-1})$	net positive suction specific energy in operation (for full information, see IEC 60193)
2.2.16	E_{CL}	lower limit of specific hydraulic energy for normal continuous operation specified for each permissible $NPSE$ (Figures 2 and 3)

2.2.17	E_{CU}	limite supérieure de l'énergie hydraulique massique pour le fonctionnement normal continu spécifié pour chaque $NPSE$ autorisé (Figures 2 et 3)
2.2.18	E_{TL}	limite inférieure de l'énergie hydraulique massique pour un fonctionnement temporaire anormal spécifiée pour chaque $NPSE$ autorisé (Figures 2 et 3). Dans la majorité des cas, E_{TL} peut être identique à E_{CL} .
2.2.19	E_{TU}	limite supérieure de l'énergie hydraulique massique pour un fonctionnement temporaire anormal spécifiée pour chaque $NPSE$ autorisé (Figures 2 et 3). Dans la majorité des cas, E_{TU} peut être identique à E_{CU} .
2.2.20	$NPSE_L$	la plus faible valeur autorisée du $NPSE$ (voir 2.2.15).
2.2.21	domaine de fonctionnement normal continu	limité a) en mode turbine par P_{CL} , P_{CU} , E_{CL} et E_{CU} (Figure 2), et b) pour les pompes et les pompes-turbines en mode pompe par E_{CL} et E_{CU} (Figure 3)
2.2.22	domaine de fonctionnement temporaire de forte puissance en mode turbine	limité par P_{CU} et P_{TU} (Figure 2)
2.2.23	domaine de fonctionnement temporaire de faible puissance en mode turbine	limité par P_{CL} et P_{TL} (Figure 2)
2.2.24	domaine de fonctionnement temporaire sous faible énergie hydraulique massique	limité par E_{CL} et E_{TL} (Figure 2 ou 3)
2.2.25	domaine de fonctionnement temporaire sous grande énergie hydraulique massique	limité par E_{CU} et E_{TU} (Figure 2 ou 3)
2.2.26.1	S (mm)	profondeur maximale absolue de toute zone érodée mesurée à partir de la surface originelle (voir 4.2.1)
2.2.26.2	$S_1, S_2, S_3, \dots, S_i$ (mm)	profondeur maximale liée à chaque zone érodée mesurée à partir de la surface originelle (voir 4.2.2 et 4.2.3b)
2.2.27	V (cm ³)	volume de matière enlevée par érosion de cavitation
2.2.28	$A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$ (cm ²)	surfaces individuelles détériorées par érosion de cavitation (voir 4.2.2 et 4.2.3b)
2.2.29	$K, k_1, k_2, k_3, \dots, k_i$	coefficients utilisés lors du calcul approché du volume comme indiqué en 4.2.3b
2.2.30	C_R (mm, cm ³)	limite garantie de l'étendue de l'érosion de cavitation pour la durée de fonctionnement de référence
2.2.31	C_A (mm, cm ³)	limite garantie de l'étendue de l'érosion de cavitation lors de la vérification de l'érosion de cavitation

2.2.17	E_{CU}	upper limit of specific hydraulic energy for normal continuous operation specified for each permissible $NPSE$ (Figures 2 and 3)
2.2.18	E_{TL}	lower limit of specific hydraulic energy for temporary abnormal operation specified for each permissible $NPSE$ (Figures 2 and 3). In many applications, E_{TL} can be the same as E_{CL}
2.2.19	E_{TU}	upper limit of specific hydraulic energy for temporary abnormal operation specified for each permissible $NPSE$ (Figures 2 and 3). In many applications, E_{TU} can be the same as E_{CU}
2.2.20	$NPSE_L$	lowest permissible value of $NPSE$ (see 2.2.15)
2.2.21	normal continuous operating range	Limited a) for turbine mode by P_{CL} , P_{CU} , E_{CL} and E_{CU} (Figure 2) and b) for pumps and pump cycle of pump-turbines by E_{CL} and E_{CU} (Figure 3)
2.2.22	high-load temporary operating range in turbine mode	Limited by P_{CU} and P_{TU} (Figure 2)
2.2.23	low-load temporary operating range in turbine mode	Limited by P_{CL} and P_{TL} (Figure 2)
2.2.24	low specific hydraulic energy temporary operating range	Limited by E_{CL} and E_{TL} (Figure 2 or 3)
2.2.25	high specific hydraulic energy temporary operating range	Limited by E_{CU} and E_{TU} (Figure 2 or 3)
2.2.26.1	S (mm)	absolute maximum depth of any pitted area measured from the original surface (see 4.2.1)
2.2.26.2	$S_1, S_2, S_3, \dots, S_i$ (mm)	maximum depth of a particular pitted area measured from the original surface (see 4.2.2 and 4.2.3b)
2.2.27	V (cm ³)	volume of material removed by cavitation pitting
2.2.28	$A_1, A_2, A_3, \dots, A_i$ (cm ²)	individual areas damaged by cavitation pitting (see 4.2.2 and 4.2.3b)
2.2.29	$K, k_1, k_2, k_3, \dots, k_i$	coefficients used in the approximate calculation of volume as indicated in 4.2.3b
2.2.30	C_R (mm, cm ³)	guaranteed limit of the amount of cavitation pitting for the reference duration of operation
2.2.31	C_A (mm, cm ³)	guaranteed limit of the amount of cavitation pitting at the time of cavitation-pitting examination

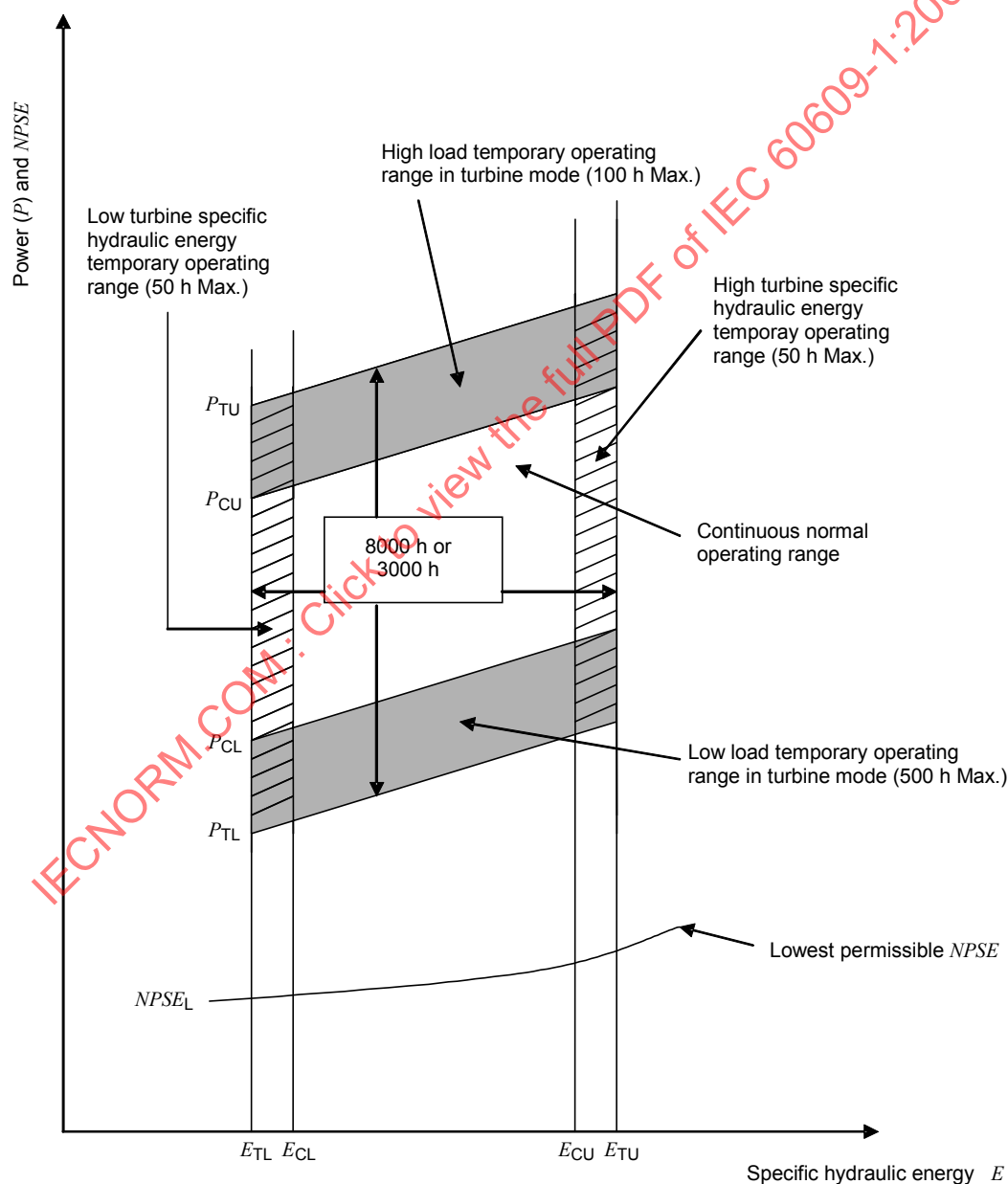
- 2.2.32 D (m) pour les turbines Kaplan et hélices, le diamètre extérieur des aubes de la roue en sortie
pour les turbines Francis, le diamètre de sortie roue
pour les pompes d'accumulation et les pompes-turbines, le diamètre d'entrée de la roue côté basse pression. Pour d'autres types de machine, voir la CEI 60193
- 2.2.33 W (kg) perte de masse par enlèvement de matière (W n'est pas utilisé dans cette norme, le facteur de conversion est présenté ici pour permettre à l'utilisateur de transformer le volume d'acier en masse, si cela est demandé au contrat. Le facteur de conversion est approximativement $7,8 \text{ kg/dm}^3$.)



NOTE Pour le nombre d'heures de fonctionnement voir 3.3
La forme des courbes présentées ici est purement indicative. En particulier la courbe représentant le $NPSE$ peut différer sensiblement de l'exemple ci-dessus, dans certains cas il faudra représenter plusieurs courbes en relation avec P_{CU} , P_{CL} et des puissances intermédiaires.

Figure 2 – Domaines de fonctionnement pour les turbines et les pompes-turbines en mode turbine

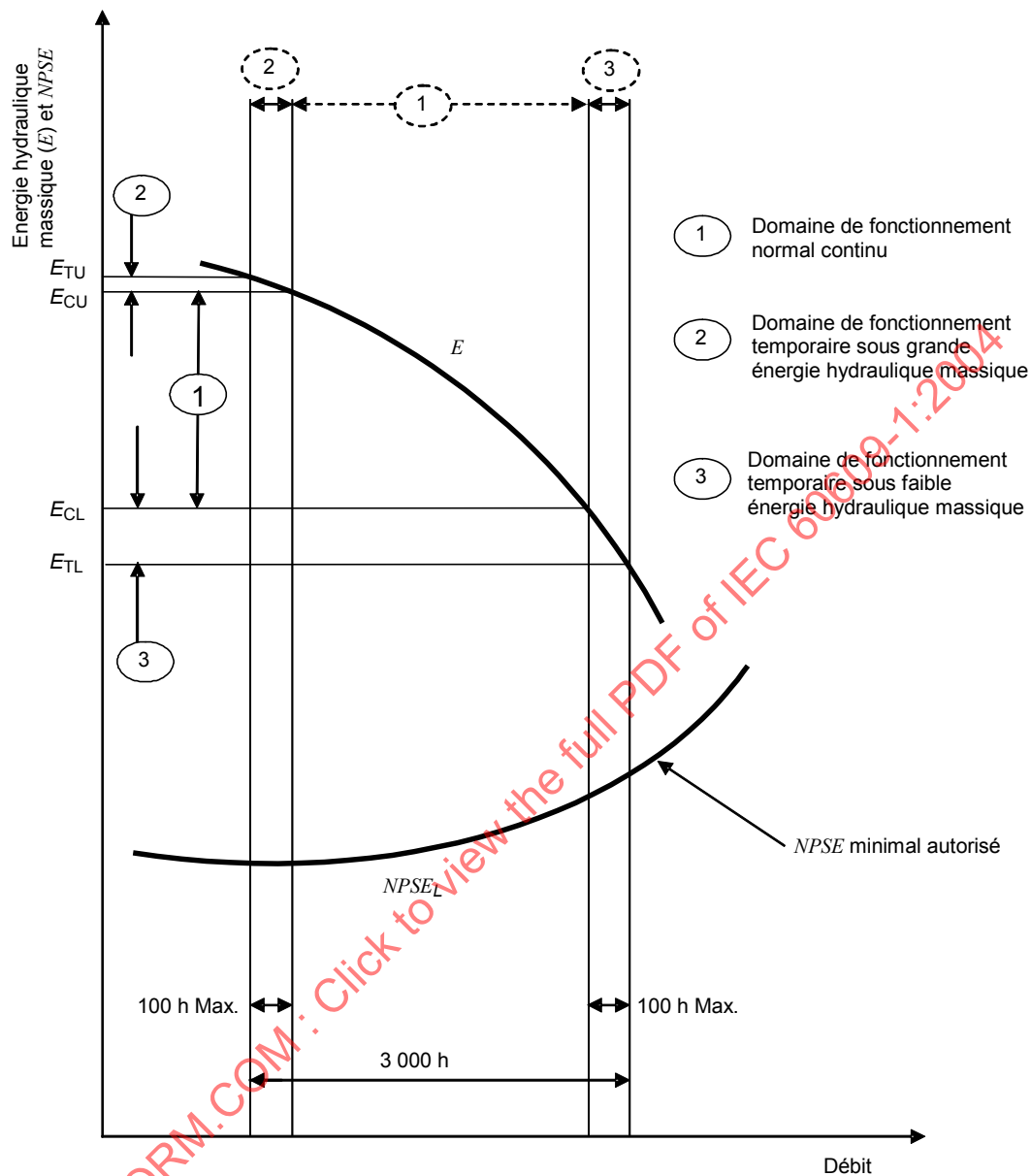
- 2.2.32 D (m) in the case of Kaplan and propeller turbines, runner blade tip diameter at exit
in the case of Francis turbines, the outlet diameter of the runner
in the case of storage pumps and pump-turbines during pumping operation, the inlet diameter of the impeller (for any other type of machine, see IEC 60193)
- 2.2.33 W (kg) mass of material removed (W is not used in the equations of this standard, but the conversion factor is shown here to enable user to convert from volume of steel to mass, if required by the contract; conversion is approximately $7,8 \text{ kg/dm}^3$.)



NOTE For number of operating hours, see 3.3.

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

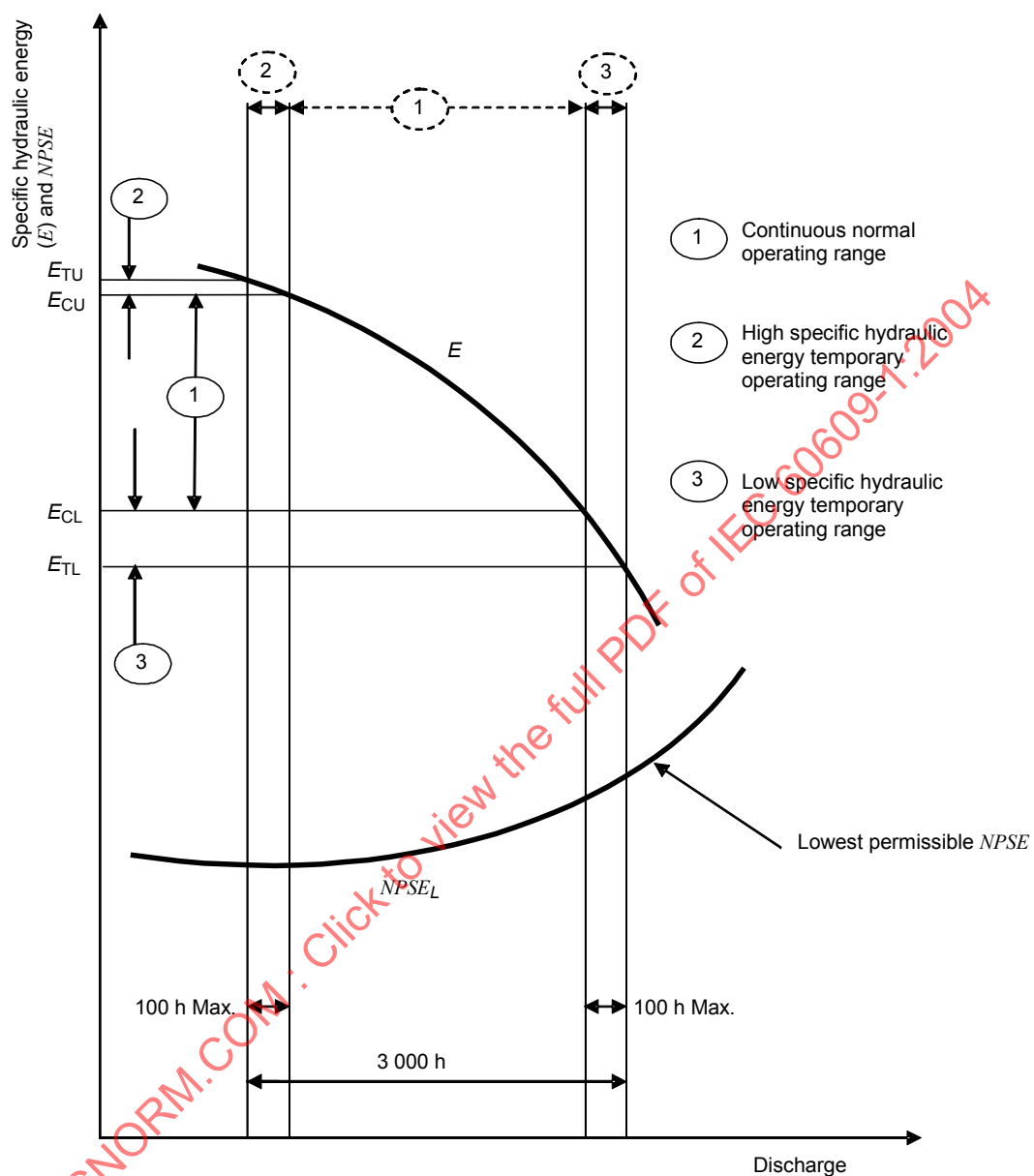
Figure 2 – Operating ranges for turbines and pump-turbines during turbine operation



IEC 1485/04

NOTE Pour le nombre d'heures de fonctionnement voir 3.3.
La forme des courbes présentées ici est purement indicative.
En particulier la courbe représentant le $NPSE$ peut différer sensiblement de l'exemple ci-dessus.

Figure 3 – Domaines de fonctionnement pour les pompes d'accumulation et les pompes-turbines en mode pompe



IEC 1485/04

NOTE For number of operating hours, see 3.3.

The form of curves shown in the above figures is indicative only. In particular the curve of lowest $NPSE$ may differ significantly from the example.

Figure 3 – Operating ranges for storage pumps and pump-turbines during pump operation

3 Nature et étendue des garanties liées à l'érosion de cavitation

3.1 Période de garantie

Sauf accord contraire, la période de garantie ou la durée garantie de fonctionnement attachée à l'érosion de cavitation doit être identique à la période de garantie, convenue d'un commun accord au contrat, pour la machine hydraulique dans son ensemble.

3.2 Définition de l'étendue de l'érosion de cavitation

Les documents du Contrat doivent stipuler:

- a) la quantité de perte de métal liée à l'érosion de cavitation à ne pas dépasser pendant la durée de fonctionnement convenue pour la garantie de cavitation, durée déterminée conformément à 3.3.1, et
- b) les méthodes de mesure et de calcul à utiliser pour vérifier que la garantie est respectée conformément à 4.2.

Comme l'indique l'Annexe F de la CEI 61366-1, la garantie d'érosion de cavitation pour érosion excessive doit être définie comme:

- la perte de matière de la roue exprimée en volume « V » (voir 2.2.27);
- la perte de matière de la roue exprimée en profondeur « S » (voir 2.2.26);
- la perte de matière des parties fixes exprimée en volume « V » (voir ci-dessous);
- la perte de matière des parties fixes exprimée en profondeur « S » (voir ci-dessous).

La profondeur peut être définie sur une surface contiguë. Si cette approche est suivie, on doit noter que les profondeurs indiquées à la Figure A.1 n'ont pas été développées à cet usage.

L'étendue garantie d'érosion de cavitation peut faire référence soit à une limite de la profondeur maximale S (comme défini en 2.2.26), soit au volume enlevé V (comme défini en 2.2.27) ou à une limite concernant simultanément ces deux grandeurs.

En plus de la garantie pour l'ensemble de la roue, le volume enlevé par cavitation V d'une aube/pale prise isolément ne doit pas excéder Y fois le volume garanti pour la roue complète, où $Y = 0,4$ pour les machines axiales (Kaplan, Hélices, etc.), $0,15$ pour les turbines Francis, $0,3$ pour les pompes et pompes-turbines, et $0,3$ pour les turbines et pompes-turbines de type Dériaz.

Pour les parties fixes des turbines axiales, pompes et pompes turbines à écoulement axial, et les turbines et pompes turbines de type Dériaz, les valeurs de profondeur S et de volume V doivent être prises égales aux valeurs prescrites pour la roue. Pour les parties fixes des turbines de type Francis, les pompes centrifuges et les pompes-turbines centrifuges, la valeur du volume V doit être prise comme la moitié de la valeur prescrite pour la roue alors que la profondeur S doit être prise égale à la valeur prescrite pour la roue.

3.3 Domaines et durées de fonctionnement

Pour établir la garantie d'érosion de cavitation et pour évaluer si cette garantie est satisfaite ou non, il est nécessaire de spécifier de manière précise les domaines de fonctionnement de la machine en termes d'énergie hydraulique massique, de puissance et de $NPSE$ (voir Figures 2 et 3) ainsi que les durées de fonctionnement de référence.

Il convient que le contrat définisse les proportions entre:

P_{TU} et P_{CU} (seulement pour des fonctionnements en mode turbine);

P_{TL} et P_{CL} (seulement pour des fonctionnements en mode turbine);

3 Nature and extent of cavitation-pitting guarantees

3.1 Period of guarantee

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

3.2 Definition of the amount of cavitation pitting

The contract documents shall stipulate

- a) the amount of metal loss caused by cavitation pitting which shall not be exceeded during the agreed reference duration of operation determined in accordance with 3.3.1; and
- b) the methods for measurement and calculations to be used in checking fulfilment of the guarantee in accordance with 4.2.

As shown in Annex F of IEC 61366-1, the cavitation-pitting guarantee for excessive pitting shall be defined as

- material loss on runner/impeller by volume “ V ” (see 2.2.27);
- material loss on runner/impeller by depth “ S ” (see 2.2.26);
- material loss on non-rotating parts by volume “ V ” (see details in this clause);
- material loss on non-rotating parts by depth “ S ” (see details in this clause).

Depth may be defined over a contiguous area. If this is used, it shall be noted that the depths shown in Figure A.1 were not developed for this purpose.

The guaranteed amount of cavitation pitting may refer to a limitation of the maximum depth S (as defined in 2.2.26) or the volume removed V (as defined in 2.2.27) or to a limitation of both of these quantities.

In addition to the guarantees for the entire runner/impeller, the cavitated volume V on one single runner/impeller blade shall not exceed Y times the guaranteed volume for the entire runner/impeller, where $Y = 0,4$ for axial flow machines (Kaplan, propellers, etc), 0,15 for Francis turbines, 0,3 for pumps and pump-turbines, and 0,3 for Deriaz type turbines and pump turbines.

For all non-rotating parts of axial flow turbines, axial flow pumps, axial flow pump-turbines, and Deriaz type turbines and pump-turbines, the values of depth S and volume V shall equal the values stated for the runner/impeller. For all non-rotating parts of Francis turbines, centrifugal type pumps and centrifugal type pump-turbines, the value of volume V shall equal one-half of the value stated for the runner/impeller and the value of depth S shall equal the value stated for the runner/impeller.

3.3 Operating ranges and duration of operation

In order to establish a cavitation-pitting guarantee and to evaluate whether or not it has been met, it is necessary to specify accurately the machine operating ranges in terms of specific hydraulic energy, output and $NPSE$ (see Figures 2 and 3) together with the corresponding reference durations of operation.

The contract should define the ratios between

- P_{TU} and P_{CU} (only in turbine mode of operation);
 P_{TL} and P_{CL} (only in turbine mode of operation);

E_{TU} et E_{CU} ;

E_{TL} et E_{CL} .

S'il est demandé que la machine fonctionne sans érosion de cavitation, voir Annexe A, il est recommandé que E_{TL} soit égal à E_{CL} , que E_{TU} soit égal à E_{CU} , et que P_{TU} soit égal à P_{CU} .

Si le contrat définit seulement les limites de fonctionnement continu on doit considérer:

$P_{TU} = 1,05 P_{CU}$;

$P_{TL} = 0$;

$E_{TU} = E_{CU}$;

$E_{TL} = E_{CL}$.

Pendant la période de garantie et pour chacune des machines concernées par la garantie d'érosion de cavitation on doit enregistrer de manière précise: les puissances, les énergies hydrauliques massiques, les niveaux amont, les niveaux aval ou niveaux à l'aspiration ainsi que les heures de fonctionnement. Le contractant doit avoir l'opportunité de vérifier que les conditions de fonctionnement convenues au contrat ont été respectées.

3.3.1 Durée de fonctionnement de référence

Sauf accord contraire, la durée de fonctionnement de référence suivante (indépendamment de la période de garantie) doit être utilisée comme base pour l'établissement et l'évaluation des garanties d'érosion par cavitation. Cette durée doit être représentative du temps de fonctionnement attendu.

- | | |
|--|---------------------------|
| a) Pour des machines fonctionnant un grand nombre d'heures par jour (comme les turbines fonctionnant en base) | 8 000 h de fonctionnement |
| b) Pour des machines fonctionnant un faible nombre d'heures par jour (comme les turbines de pointe, les pompes d'accumulation ou les pompes-turbines durant le temps de fonctionnement en pompe ou en turbine, quel que soit le plus grand des deux temps) | 3 000 h de fonctionnement |

3.3.2 Durée effective de fonctionnement

Toutes les heures effectives de fonctionnement jusqu'au moment de l'évaluation de l'érosion de cavitation doivent être comptabilisées à partir des relevés de la centrale. Elles doivent être classées en périodes de temps correspondant soit au domaine de fonctionnement continu normal soit aux domaines de fonctionnement temporaire de haute ou de basse énergie hydraulique massique ou de haute et de basse puissance.

Sauf accord différent, la garantie de cavitation est caduque si l'un des temps de fonctionnement suivants est dépassé pour la durée de fonctionnement effective au jour de l'évaluation.

- | | |
|---|-------|
| a) Pour les turbines ou les pompes-turbines pendant leur fonctionnement en mode turbine: | |
| – dans le domaine de fonctionnement temporaire de forte puissance, comme défini en 2.2.22 (voir Figure 2); | 100 h |
| – dans le domaine de fonctionnement temporaire de faible puissance, comme défini en 2.2.23 (voir Figure 2); | 500 h |
| – dans le domaine de fonctionnement temporaire des faibles énergies hydrauliques massiques, comme défini en 2.2.24 (voir Figure 2); | 50 h |
| – dans le domaine de fonctionnement temporaire des grandes énergies hydrauliques massiques, comme défini en 2.2.25 (voir Figure 2). | 50 h |

E_{TU} and E_{CU} ;

E_{TL} and E_{CL} .

If it is requested that the machine operates without cavitation pitting (see Annex A), it is recommended that E_{TL} equals E_{CL} , E_{TU} equals E_{CU} , and P_{TU} equals P_{CU} .

If the contract stipulates only the normal continuous range of operation it shall be considered that

$$P_{TU} = 1,05 P_{CU};$$

$$P_{TL} = 0;$$

$$E_{TU} = E_{CU};$$

$$E_{TL} = E_{CL}.$$

The outputs, specific hydraulic energies, headwater levels, tail-water or suction-water levels and operating hours shall be accurately recorded for each unit during the guarantee period. The contractor shall be given the opportunity to check whether the agreed conditions have been respected.

3.3.1 Reference duration of operation

Unless otherwise agreed, the following references to duration of operation (irrespective of the guarantee period) shall be used as the basis for establishing and evaluating the cavitation-pitting guarantees. This duration shall be representative of anticipated operation time.

- | | |
|--|----------------------|
| a) For machines operating many hours per day (such as base-load turbines) | 8 000 h of operation |
| b) For machines operating a few hours per day (such as peak-load turbines and storage pumps or pump-turbines during pump operation or turbine operation, whichever is greater) | 3 000 h of operation |

3.3.2 Actual duration of operation

All operating times up to the time of the cavitation-pitting examination shall be calculated from station operating records and separated into periods of time for operation within the continuous normal operating range and in the high and low head/load temporary operating ranges.

Unless otherwise agreed, the cavitation-pitting guarantee shall become invalid if one of the following durations of operation is exceeded with the actual duration of operation.

- | | |
|---|-------|
| a) For turbines or pump-turbines during turbine operation: | |
| – in the high load temporary operating range, as defined in 2.2.22 (see Figure 2); | 100 h |
| – in the low load temporary operating range, as defined in 2.2.23 (see Figure 2); | 500 h |
| – in the low specific hydraulic energy temporary operating range, as defined in 2.2.24 (see Figure 2); | 50 h |
| – in the high specific hydraulic energy temporary operating range, as defined in 2.2.25 (see Figure 2). | 50 h |

- b) Pour les pompes d'accumulation et les pompes-turbines pendant leur fonctionnement en mode pompe:
- dans le domaine de fonctionnement temporaire des faibles énergies hydrauliques massiques, comme défini en 2.2.24 100 h
(voir Figure 3);
 - dans le domaine de fonctionnement temporaire des fortes énergies hydrauliques massiques, comme défini en 2.2.25 100 h
(voir Figure 3).

Les valeurs de 50 h, 100 h, et 500 h présentées ci-dessus doivent servir de durée de référence pour un fonctionnement de 8 000 ou 3 000 h. Elles doivent être adaptées proportionnellement si la durée de fonctionnement de référence diffère de 8 000 h ou 3 000 h.

3.3.3 Conditions particulières de fonctionnement

Les heures de fonctionnement de la machine qui correspondent aux phases de démarrage et de fermeture pour arrêt doivent être incluses dans la durée effective de fonctionnement. Sauf accord contraire les fonctionnements en turbine au dessous de P_{TL} et en pompe (ou pompe-turbine en mode pompe) au dessus de E_{TU} doivent être limités aux séquences de démarrage et d'arrêt. Les heures de fonctionnement de la machine pour lesquelles la roue a fonctionné dans l'air ne doivent pas être comptabilisées dans la durée effective de fonctionnement.

Pour que la garantie d'érosion de cavitation reste valable les turbines à double réglage (comme les machines de type Kaplan) doivent être utilisées «en conjugaison». Le contractant doit être autorisé à conduire des essais pour ajuster cette relation entre l'angle des pales et l'angle des aubes directrices. Ces essais doivent être réalisés d'un commun accord et dans un délai raisonnable. Afin de minimiser d'éventuels dommages à la machine cet ajustement doit être réalisé le plus rapidement possible après la mise en service initiale.

Pour que la garantie d'érosion de cavitation reste valable les pompes-turbines doivent être utilisées en mode pompe en respectant la relation recommandée entre l'ouverture du vannage et l'énergie hydraulique massique. Le contractant doit être autorisé à conduire des essais pour ajuster cette relation. Ces essais doivent être réalisés d'un commun accord et dans un délai raisonnable. Afin de minimiser d'éventuels dommages à la machine cet ajustement doit être réalisé le plus rapidement possible après la mise en service initiale.

4 Modalités d'exécution

4.1 Réparations des dommages dus à la cavitation pendant la période de garantie

Le contractant doit avoir l'opportunité d'inspecter la machine hydraulique, après une période de fonctionnement raisonnable à convenir avec l'acheteur, et de réaliser pendant une période convenue tous travaux qu'il considère nécessaires. Les deux parties peuvent bénéficier de cette première inspection. Un arrêt bref et planifié au début de la période de garantie permet de réaliser des corrections et/ou de planifier une action corrective lors d'un arrêt ultérieur. Cette procédure peut permettre d'éviter une immobilisation plus longue par la suite et peut rallonger la durée de vie de la machine. Se référer à l'Annexe F de la CEI 61366-1.

Si, avant l'expiration de la période de garantie, le contractant réalise (par meulage et/ou soudage):

- des réparations substantielles de dommages liés à l'érosion de cavitation, et/ou
- des modifications importantes de la forme de composants soumis à des risques d'érosion de cavitation,

alors la durée effective de fonctionnement liée à la garantie d'érosion de cavitation, définie en 2.2.5, doit reprendre à zéro à partir du moment où la machine est remise en service.

- b) For storage pumps and for pump-turbine during pumping operation:
- in the low specific hydraulic energy temporary operating range, 100 h
as defined in 2.2.24 (see Figure 3);
 - in the high specific hydraulic energy temporary operating range, 100 h
as defined in 2.2.25 (see Figure 3).

The times of 50 h, 100 h, and 500 h shown above shall serve as a reference duration of operation of 8 000 h or 3 000 h. They shall be adjusted proportionately if the reference duration of operation differs from 8 000 h or 3 000 h.

3.3.3 Special conditions

The hours recorded for machine start-up and shut-down operations shall be included in the actual duration of operation. Unless otherwise agreed upon, operation of a turbine below P_{TL} or a pump (or pump-turbine in pump cycle) above E_{TU} shall be limited to starting and stopping sequences. The hours recorded when the machine is operating with the runner/impeller rotating in air shall be excluded from the calculations for the actual duration of operation.

Double-regulated turbines (such as Kaplan type) shall be operated "on-cam" to ensure that the cavitation-pitting guarantee remains valid. The contractor shall be entitled to test and adjust the required combinations of blade angle and guide vane angle in a manner and reasonable time fixed by mutual agreement. This adjustment shall be performed as soon as possible after initial operation of the unit to minimize potential damage of the machine.

Pump-turbines shall be operated in the pump mode at the prescribed guide vane opening with respect to specific hydraulic energy to ensure that the cavitation-pitting guarantee remains valid. The contractor shall be entitled to test and adjust this relationship (guide vane opening to specific hydraulic energy) in a manner and reasonable time fixed by mutual agreement. This adjustment shall be performed as soon as possible after initial operation of the unit to minimize potential damage of the machine.

4 Procedures

4.1 Repair of cavitation pitting during the guarantee period

The contractor shall have the opportunity to inspect the hydraulic machine, after a reasonable operating period to be agreed upon with the employer, and to carry out within an agreed period any work that the contractor considers necessary. Both parties can benefit from an early inspection. A short planned outage near the beginning of the guarantee period permits corrections to be made during this outage and/or allows corrective action to be scheduled for a later planned outage. This approach can avoid a longer outage at a later time and can lengthen the life of the machine. Refer to Annex F of IEC 61366-1.

If before the end of the guarantee period, the contractor makes (by grinding and/or welding)

- substantial repairs to cavitation pitting damage, and/or
- significant changes in the shape of components subject to the risk of cavitation pitting,

then the actual duration of the cavitation-pitting guarantee, as defined in 2.2.5, shall recommence at zero from the time the machine is returned to operation again.

Si ces réparations ou modifications sont mineures, à savoir qu'elles ne nécessitent qu'un simple meulage ou polissage, alors, par accord mutuel, on peut considérer que la période de garantie n'a pas été interrompue.

4.2 Mesures et calcul de l'importance de l'érosion de cavitation

Sauf accord différent, et si la quantité d'érosion de cavitation est mesurée dans le but de vérifier le respect de la garantie, l'acheteur et le fournisseur doivent réaliser cette mesure conjointement. L'inspection doit être réalisée durant la période s'étendant de 80 % à 120 % de la durée convenue, sauf si une période différente a fait l'objet d'un accord. Pour déterminer l'étendue de l'érosion de cavitation on doit utiliser les méthodes de mesure décrites dans ce paragraphe. Les méthodes de mesure choisies doivent être spécifiées au contrat. Aucun meulage ne doit être entrepris avant de réaliser les mesures, sauf si les parties conviennent que la profondeur maximale ne peut pas être mesurée de manière précise. Dans ce cas, un meulage local pourra être entrepris avant de mesurer la profondeur mais postérieurement à la mesure du volume. Ce meulage doit être réalisé d'un commun accord et de manière à ne pas influencer sur les résultats. Dans le cas où un meulage est réalisé il est recommandé de mesurer le volume en utilisant la méthode décrite au point a) de 4.2.3.

4.2.1 La *profondeur maximale* S_i de toute zone érodée doit être déterminée en utilisant une jauge de profondeur et un gabarit, ou tout autre procédé qui, supporté par les surfaces non endommagées des parties de la machine considérées, reproduit dans la zone de perte de matière le contour originel de ces surfaces avec une précision suffisante.

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

4.2.2 La *surface individuelle* A_i correspondant à toute zone érodée doit de préférence être délimitée en utilisant une peinture adaptée ou de l'encre, en particulier si le contour est irrégulier et si la surface présente de la courbure dans les trois dimensions. Le contour de cette surface doit être transféré sur du papier indéformable par contact ou tracé. La surface obtenue sur le papier peut alors être mesurée par planimétrie ou, si du papier millimétré est utilisé, en comptant les carreaux.

L'incertitude de mesure ne doit pas dépasser ± 10 %.

La surface érodée doit être calculée et prise en compte dans l'évaluation de la garantie seulement si la profondeur de l'érosion est supérieure à 0,5 mm. Il est toutefois utile de garder une trace de l'étendue totale des dommages, même si certains sont si faibles qu'ils ne sont pas couverts par la garantie.

4.2.3 La *perte de matière* V doit être évaluée à l'aide d'une méthode compatible avec les garanties, comme suit:

- a) soit par la mesure directe du volume, d'une pâte de remplissage provisoire, permettant de retrouver la forme originelle de la surface avant érosion. Dans le cas où la surface soumise à érosion présente de la courbure dans les trois dimensions, il convient que sa forme soit vérifiée avec des gabarits ou d'autres moyens adaptés.

L'incertitude de mesure ne doit pas dépasser ± 15 %.

- b) soit par un calcul approché qui, à moins qu'il n'en soit convenu autrement, peut être réalisé en utilisant l'une des deux formules suivantes:

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

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

où les valeurs k_1 , k_2 ... ou k sont prises égales à 0,5, sauf accord mutuel sur des valeurs différentes dépendant de la forme des surfaces érodées, et où A_1 , A_2 , ... sont définies en accord avec 4.2.2.

If such repairs or changes are of minor nature, i.e. if repair can be made by slight grinding and polishing, the cavitation-pitting guarantee period may, by mutual agreement, be considered as uninterrupted.

4.2 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 fulfilment of the guarantee, the employer and the contractor shall make such measurements jointly. The inspection shall be performed within a period of 80 % to 120 % of the agreed-upon time, unless a different period is mutually agreed. The amount of cavitation pitting shall be determined by using the measuring methods described in this subclause. The chosen measuring methods shall be specified in the contract documents. Grinding shall not be performed prior to measurement unless it is agreed that the maximum depth cannot be accurately measured. In this case, local grinding can be performed prior to measurement of maximum depth but after measurement of volume. This grinding shall be performed in an agreed-upon manner that will not influence the results. If this grinding is performed, it is recommended that the volume is measured by the method described in item a) of 4.2.3.

4.2.1 The maximum depth S_i of any pitted area shall be determined by use of a depth gauge and a template or other suitable device which, when supported on undamaged areas of the machine part under consideration, reproduces the original contour of the area with satisfactory accuracy in the zone where the material has been lost.

Measuring uncertainty shall not exceed ± 10 % of maximum depth or 1 mm, whichever is the greater.

4.2.2 The individual damaged area A_i shall preferably be delineated, using a suitable paint or ink – particularly if the contours are irregular and if the area curves in all three dimensions – and be transferred to stable paper by contact or tracing. The area shown on the paper may then be determined by planimeter or, if graph paper is used, by counting squares.

Measuring uncertainty shall not exceed ± 10 %.

The area of pitting shall be calculated and considered in guarantee only if the depth of pitting is greater than 0,5 mm. However, it is useful to have a record of the total extent of damage, even if some of the damage is so slight as to not be covered by the guarantee.

4.2.3 The loss of material V shall be measured by a method consistent with the guarantee, as follows:

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

Measuring uncertainty shall not exceed ± 15 %.

- b) or by an approximate calculation, which, unless otherwise agreed upon, may be calculated with either of the following formulae:

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

$$V = k * \sum (S_1 A_1 + S_2 A_2 + \dots)$$

where the values $k_1, k_2 \dots$ or $k = 0,5$ unless otherwise chosen by mutual agreement depending on the shape of the pitted areas, and where $A_1, A_2, \dots$ are defined according to 4.2.2.

5 Evaluation des résultats et respect de la garantie

On considère que la garantie d'érosion de cavitation est satisfaite si, après une durée de fonctionnement comprise dans les plages convenues et respectant les termes de 3.3, l'étendue de l'érosion de cavitation mesurée (compte tenu des incertitudes de mesure) sur la partie considérée de la machine ne dépasse pas les valeurs spécifiées conformément à 3.2, et corrigées à partir de la formule ci-dessous:

$$C_A = C_R * (t_A/t_R)$$

où

C_A est la limite garantie d'érosion de cavitation (S et/ou V) lors de la vérification de l'érosion de cavitation;

C_R est la limite garantie d'étendue d'érosion de cavitation (S et/ou V) correspondant à la durée de fonctionnement de référence;

t_A est la durée effective de fonctionnement définie en 2.2.7;

t_R est la durée de fonctionnement de référence définie en 2.2.6.

Si la garantie n'est pas satisfaite, les dispositions à prendre le seront conformément au contrat. Voir, à ce sujet, la CEI 61366-1.

La pénétration de revêtements résistants à l'érosion de cavitation pendant la période de garantie doit faire l'objet d'un accord contractuel spécifique.

Dans tous les cas la garantie d'érosion de cavitation considère que $NPSE \geq NPSE_L$.

5 Computation of results and fulfilment of the guarantee

The cavitation-pitting guarantee is considered to have been met if, after an operation period within the ranges agreed upon according to 3.3, the amount of cavitation pitting measured (with due consideration given to inaccuracies of measurement) on the relevant part of the hydraulic machine does not exceed the quantities specified in agreement with 3.2, corrected using the formula:

$$C_A = C_R * (t_A/t_R)$$

where

- C_A is the guaranteed limit of the amount of cavitation pitting (S and/or V) at the time of cavitation pitting examination;
- C_R is the guaranteed limit of the amount of cavitation pitting (S and/or V) for the reference duration of operation;
- t_A is the actual duration of operation as defined in 2.2.7;
- t_R is the reference duration of operation as defined in 2.2.6.

If guarantees are not met, the solution is dependent on the contract (refer to IEC 61366-1).

Penetration of cavitation-pitting resistant coating due to cavitation pitting in the guarantee period shall be treated by special contractual agreement.

In all cases, the cavitation-pitting guarantee considers that $NPSE \geq NPSE_L$.