

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60609-2

Première édition
First edition
1997-11

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

**Partie 2:
Evaluation dans les turbines Pelton**

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

**Part 2:
Evaluation in Pelton turbines**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60609-2:1997

Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

Publications consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

Validité de la présente publication

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

Des renseignements relatifs à la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à 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**
Accès en ligne*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Accès en ligne)*

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

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.

* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

Numbering

As from the 1st January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

Validity of this publication

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

Information relating to the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

Information on the 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**
On-line access*
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates (On-line access)*

Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

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.

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC**

60609-2

Première édition
First edition
1997-11

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

**Partie 2:
Evaluation dans les turbines Pelton**

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

**Part 2:
Evaluation in Pelton turbines**

© IEC 1997 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

P

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	6
 Articles	
1 Généralités	8
1.1 Domaine d'application et objet	8
1.2 Points exclus	8
1.3 Référence normative.....	10
2 Terminologie, symboles et définitions.....	10
2.1 Unités	10
2.2 Liste des termes employés.....	10
2.3 Position des zones détériorées sur les augets Pelton et nature des dommages ..	16
3 Nature et étendue des garanties relatives à l'érosion de cavitation	18
3.1 Période de garantie	18
3.2 Définition de l'étendue de l'érosion de cavitation	18
3.3 Domaines et durée de fonctionnement	20
3.3.1 Durée de fonctionnement de référence	20
3.3.2 Durée réelle de fonctionnement	20
3.3.3 Conditions spéciales.....	20
4 Modalités d'exécution des essais.....	22
4.1 Réparation, pendant la période de garantie, des dommages dus à la cavitation ..	22
4.2 Mesure et calcul de l'étendue de l'érosion de cavitation.....	22
5 Calcul des résultats	24
5.1 Respect de la garantie	24
 Annexes	
A Exemples de valeurs d'étendue d'érosion de cavitation	26
B Bibliographie	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	7
Clause	
1 General	9
1.1 Scope and object	9
1.2 Excluded topics	9
1.3 Normative reference	11
2 Terms, symbols and definitions	11
2.1 Units	11
2.2 List of terms	11
2.3 Location and type of damage to Pelton buckets	17
3 Nature and extent of cavitation pitting guarantees	19
3.1 Period of guarantee	19
3.2 Definition of the amount of cavitation pitting	19
3.3 Operating ranges and duration of operation	21
3.3.1 Reference duration of operation	21
3.3.2 Actual duration of operation	21
3.3.3 Special conditions	21
4 Test procedure	23
4.1 Cavitation pitting repair during the guarantee period	23
4.2 Measurement and calculation of the amount of cavitation pitting	23
5 Computation of results	25
5.1 Fulfilment of the guarantee	25
Annexes	
A Examples of amounts of cavitation pittings	27
B Bibliography	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

Partie 2: Evaluation dans les turbines Pelton

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) 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. 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 intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les documents produits se présentent sous la forme de recommandations internationales. Ils sont publiés comme normes, rapports techniques ou guides et agréés comme tels par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.
- 5) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand un matériel est déclaré conforme à l'une de ses normes.
- 6) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Norme internationale 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 60609-2 a été établie par le comité d'études 4 de la CEI: Turbines hydrauliques.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
4/127/FDIS	4/139/RVD

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

L'annexe A fait partie intégrante de cette norme.

L'annexe B est donnée uniquement à titre d'information.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CAVITATION PITTING EVALUATION
IN HYDRAULIC TURBINES, STORAGE PUMPS
AND PUMP-TURBINES –****Part 2: Evaluation in Pelton turbines**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the 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, the IEC publishes International Standards. 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. The 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 the 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 National Committees.
- 3) The documents produced have the form of recommendations for international use and are published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.
- 5) The IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with one of its standards.
- 6) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this International Standard may be the subject of patent rights. The IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60609-2 has been prepared by IEC technical committee 4: Hydraulic turbines.

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

FDIS	Report on voting
4/127/FDIS	4/139/RVD

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

Annex A forms an integral part of this standard.

Annex B is for information only.

INTRODUCTION

La CEI 60609 (1978) traite de l'érosion de cavitation des turbines à réaction, mais ne s'applique pas aux turbines Pelton (à action). L'annexe A de la CEI 60609 précise d'ailleurs que les turbines Pelton «ne sont généralement pas soumises à l'érosion de cavitation».

Cependant, l'expérience montre que la probabilité d'observer de l'érosion due à la cavitation ou à l'impact des gouttelettes augmente avec l'accroissement de la vitesse spécifique (en particulier pour les turbines comportant plusieurs jets) et de l'énergie hydraulique massique (la chute). Ce faisant, des garanties de perte de matière peuvent être exigées.

Différentes sources de dommages sont observées selon les caractéristiques de l'écoulement; à titre d'exemple, citons:

- les erreurs de profil;
- des conditions d'alimentation défavorables;
- l'érosion liée à l'impact de gouttelettes
(érosion par les gouttelettes, appelée aussi érosion par impact de jet);

et parfois

- les conditions de calage
(par exemple calage de la roue par rapport au niveau aval, ou par dépression aval).

Les raisons des dommages sont souvent complexes et doivent être soigneusement recensées en tenant compte des conditions qui sont exclues de la garantie de cavitation (voir 1.2). Toutefois, le but de la présente partie de la CEI 60609 n'est pas de préciser les mesures pour éviter l'érosion de cavitation en ce qui concerne:

- le profil hydraulique et la rugosité de surface des éléments de la machine (augets, injecteurs, etc.),
- les conditions d'installation (calage, amenée).

Cela fait partie du savoir-faire du contractant de la turbine.

Les dommages (perte de poids) résultant des différentes sources (érosion de cavitation, érosion par impact de gouttelettes) sont regroupés sous la dénomination globale d'«érosion de cavitation».

INTRODUCTION

IEC 60609 (1978) treats cavitation pitting in reaction machines but does not refer to Pelton (impulse) turbines. Appendix A of IEC 60609 states that Pelton turbines "usually are not subjected to cavitation pitting".

However, experience shows that with increase of specific speed (especially of multijet turbines) and of specific hydraulic energy (head) the probability of cavitation pitting and drop erosion on Pelton turbines increases. Consequently weight loss guarantees on Pelton turbines may be required.

Various types of damage are observed, each the result of different flow phenomena, such as pitting due to:

- profile errors;
- unfavourable inflow conditions;
- erosion due to travelling droplets
(drop erosion, also called jet impingement);

and in some instances

- setting conditions
(e.g. setting of the runner referred to the tailwater level, or tailwater depression).

The causes of damage are often complex and have to be carefully investigated, taking into account also conditions which are excluded in the cavitation guarantee (see 1.2). However it is not the objective of this part of IEC 60609 to describe the requirements and measures needed for avoiding cavitation pitting due to

- hydraulic shape and surface roughness of turbine parts (buckets, nozzles, etc.), or
- installation requirements (setting, inflow conditions).

Those requirements are part of the know-how of the turbine contractor.

The damage (i.e. pitting respective weight loss) due to these various causes (cavitation pitting and drop erosion) is combined in the following clauses as the term "cavitation pitting".

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

Partie 2: Evaluation dans les turbines Pelton

1 Généralités

1.1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 60609 constitue la base de la formulation des garanties d'érosion de cavitation des roues des turbines Pelton. Elle traite aussi de la mesure et de l'évaluation de l'importance de cette érosion pour les roues d'une turbine donnée caractérisée contractuellement par sa puissance, son énergie hydraulique massique (chute), sa vitesse de rotation, la nature des matériaux, les conditions de fonctionnement, etc.

Les articles de cette partie de la CEI 60609 se succèdent dans le même ordre que dans la CEI 60609 (1978). Les articles traitant des mesures et de l'évaluation de l'érosion de cavitation sont pratiquement identiques à ceux de la CEI 60609. Il faut baser l'évaluation sur la perte de matière pendant un temps donné et dans des conditions de fonctionnement définies avec précision.

Des garanties, qui limitent l'étendue de l'érosion par la cavitation et par impact de jet dans les turbines Pelton à la fin d'une période de fonctionnement précisée dans le contrat, sont à établir chaque fois que des dommages sont susceptibles de se produire dans tout ou partie des fonctionnements envisagés. De telles garanties doivent inclure des limites d'utilisation compatibles avec les conditions spécifiées de fonctionnement de la machine.

1.2 Points exclus

La présente partie de la CEI 60609 émet l'hypothèse que l'eau ne présente aucune agressivité chimique significative et qu'elle est pratiquement dépourvue de particules solides abrasives.

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

Un écoulement perturbé dans l'amenée du fait de singularités à l'amont de la turbine peut entraîner de l'érosion de cavitation et avoir des conséquences sur les performances hydrauliques. Les garanties d'érosion de cavitation ne sont donc valables que si un écoulement suffisamment régulier et exempt de tourbillons est assuré. En cas de dommage, il faut prendre en considération l'influence de la mauvaise qualité éventuelle de l'alimentation.

L'abrasion due à la présence de matériaux solides (sable par exemple) ne peut être considérée comme de l'érosion de cavitation. La teneur de l'eau en matières solides et également, le cas échéant, la nature des minéraux, la taille et la forme des particules (sable) doivent être indiquées dans l'analyse de l'eau. Si la teneur en suspensions atteint une valeur significative, cela doit faire l'objet d'un accord préalable spécifique. La CEI 61366 (annexe H) traite de l'abrasion due au sable.

L'abrasion peut entraîner une modification de la géométrie des injecteurs et/ou des augets et donc de l'érosion de cavitation. Ces dommages doivent être exclus de l'évaluation de l'érosion de cavitation.

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

Part 2: Evaluation in Pelton turbines

1 General

1.1 Scope and object

This part of IEC 60609 serves as a basis for the formulation of guarantees on cavitation pitting on Pelton turbine runners and also for the measurement and evaluation of the amount of cavitation pitting on Pelton turbine runners of a given turbine, which is defined in the contract by power, specific hydraulic energy of machine (head), rotational speed, material, operation, etc.

The sequence of clauses in this part of IEC 60609 is the same as in IEC 60609 (1978). The clauses on measurements and evaluation of the amount of cavitation pitting are practically identical to those of IEC 60609. Evaluation has to be based on the loss of material during a given time and under accurately defined operating conditions.

Guarantees which restrict the extent of cavitation pitting and drop erosion on Pelton turbines at the end of an operating period specified in the contract are necessary when cavitation pitting is expected in all or in some operating ranges. Such guarantees should include limits for operation which are consistent with specified operating conditions.

1.2 Excluded topics

It is assumed in this part of IEC 60609 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 shall be taken into consideration when judging whether the given guarantees have been met.

In case of a distorted inflow condition at the inlet of the turbine due to irregularities upstream of the turbine, hydraulic effects may be raised, which beyond the influence on hydraulic performance also may cause cavitation pitting. Therefore it is claimed for the basis of cavitation pitting guarantees that a satisfactorily uniform and vortex-free flow condition shall be provided. In case of damage, the influence of improper inflow condition shall be taken into account.

Abrasion due to water contaminated with solids (e.g. sand) cannot be considered as cavitation pitting. The solids content of the water and also – if relevant – the type of minerals and size and form of solid (sand) particles shall be stated in the water analysis and, if it reaches significant proportion, shall be the subject of a special agreement. Aspects of abrasive wear by sand erosion are dealt with in IEC 61366 (annex H).

Abrasion may cause a change of the geometry of the needle and/or the bucket and subsequently cavitation pitting as secondary damage. Such damage shall be excluded from the evaluation of cavitation.

Si l'érosion se produit dans des zones où le dommage peut être attribué de façon distincte à de la corrosion chimique ou électrochimique anormale, à de l'abrasion ou à des chocs mécaniques, ces dommages seront également exclus de l'évaluation de la cavitation.

Si l'érosion se produit dans des zones où il peut être démontré qu'elle a été accrue par des effets chimiques ou électrochimiques venant s'ajouter aux effets normaux de la cavitation dans une eau conforme à l'analyse agréée, ces zones ne doivent pas être prises en compte dans l'évaluation des dommages.

A ce propos, il faut souligner l'importance du choix des matériaux par rapport à l'abrasion par le sable et à la corrosion chimique ou électrochimique.

Les défauts dans la matière que ferait apparaître l'usure superficielle de la machine durant son fonctionnement ne sont pas pris en compte pour vérifier les garanties d'érosion par la cavitation.

Les conditions de fonctionnement particulières comme les décharges par déflecteur ou déflecteur sécant sont exclues des garanties contre l'érosion de cavitation.

1.3 Référence normative

Le document normatif suivant contient des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour la présente partie de la CEI 60609. Au moment de la publication, l'édition indiquée était en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur la présente partie de la CEI 60609 sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer l'édition la plus récente du document normatif indiqué ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 60609:1978, *Evaluation de l'érosion de cavitation dans les turbines, les pompes d'accumulation et les pompes-turbines hydrauliques*

2 Terminologie, symboles et définitions

2.1 Unités

Le système international d'unités (SI) est utilisé dans la présente partie de la CEI 60609. Les dimensions des érosions sont données en centimètres.

2.2 Liste des termes employés

La terminologie, les symboles et les définitions employés dans cette partie de la CEI 60609 sont rassemblés ci-dessous ¹⁾.

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	érosion de jet	Perte de matière due aux impacts des gouttelettes (érosion par impact de jet).

¹⁾ Ils sont aussi basés, le cas échéant, sur la CEI 61364.

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

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.

In this context, attention should be paid to the material selection in reference to abrasion by sand erosion and/or chemical or electrochemical corrosion.

Material defects revealed by wear on the machine surfaces during operation are not taken into account to verify a guarantee against cavitation pitting.

Special operating conditions such as discharging by means of deflector or cut-in deflector shall be excluded from cavitation pitting guarantees.

1.3 Normative reference

The following normative document contains provisions which, through reference in this text, constitute provisions of this part of IEC 60609. At the time of publication, the edition indicated was valid. All normative documents are subject to revision, and parties to agreements based on this part of IEC 60609 are encouraged to investigate the possibility of applying the most recent edition of the normative document indicated below. Members of IEC and ISO maintain registers of currently valid International Standards.

IEC 60609:1978, *Cavitation pitting evaluation in hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines*

2 Terms, symbols and definitions

2.1 Units

The International System of units (SI) has been used in this part of IEC 60609. Dimensions for pitting are given in centimetres.

2.2 List of terms

The terms, symbols and definitions adopted in this part of IEC 60609 are listed below ¹⁾:

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	drop erosion	Loss of material caused by impact of travelling droplets (liquid impact erosion, jet impingement).

¹⁾ They are also based, where relevant, on IEC 61364.

2.2.4	abrasion	Perte de matière due aux particules transportées (sable) et provoquant une érosion de la surface (usure par abrasion, érosion due au sable).
2.2.5	période de garantie de cavitation	Nombre de mois ou d'années de service de la machine pendant lesquels la garantie relative à l'érosion de cavitation est valable.
2.2.6	durée de fonctionnement de la garantie de cavitation	Nombre d'heures de fonctionnement de la machine pendant lesquelles la garantie relative à l'érosion de cavitation est valable.
2.2.7	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.
2.2.8	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.
2.2.9	E (Jkg ⁻¹)	Energie hydraulique massique de la machine (turbine) $E = gH$, voir 2.2.11 et ²⁾ .
2.2.10	g (ms ⁻²)	Accélération due à la pesanteur ¹⁾ .
2.2.11	H (m)	Hauteur de chute nette de la turbine $H = E/g$.
2.2.12	P (W)	Puissance, puissance mécanique de la turbine.
2.2.13	P_{CU}	Limite supérieure de puissance pour un fonctionnement normal continu spécifiée pour chaque énergie hydraulique massique (voir figure 1).
2.2.14	P_{TU}	Limite supérieure de puissance pour un fonctionnement exceptionnel momentané, spécifiée pour chaque énergie hydraulique massique (voir figure 1).
2.2.15	P_{CL}	Limite inférieure de puissance pour un fonctionnement normal continu spécifiée pour chaque énergie hydraulique massique ³⁾ (voir figure 1).
2.2.16	domaine de fonctionnement normal continu	Limité par P_{CU} et P_{CL} (voir figure 1).
2.2.17	domaine de fonctionnement exceptionnel momentané de grande puissance	Limité par P_{CU} et P_{TU} (voir figure 1).

²⁾ Pour plus d'informations, voir la CEI 60041.

³⁾ P_{CL} peut être défini par la limitation de la course du pointeau: 15 % de la course maximale du pointeau, sauf indications contraires.

2.2.4	abrasion	Loss of material caused by suspended solids (e.g. sand) eroding the material surface (abrasive wear, sand erosion).
2.2.5	cavitation guarantee	Number of months or years of service of a machine during which the period cavitation pitting guarantee is valid.
2.2.6	cavitation guarantee duration of operation	Number of machine operating hours during which the cavitation pitting guarantee is valid.
2.2.7	reference duration of operation t_R (h)	Number of machine operating hours used as a reference value for establishing cavitation pitting guarantees.
2.2.8	actual duration of operation t_A (h)	The actual number of machine operating hours at the time of cavitation pitting examination.
2.2.9	E (Jkg ⁻¹)	Specific hydraulic energy of machine (turbine), $E = gH$, see 2.2.11 and 2).
2.2.10	g (ms ⁻²)	Acceleration due to gravity ¹⁾ .
2.2.11	H (m)	Head of turbine $H = E/g$.
2.2.12	P (W)	Power, mechanical power of the turbine.
2.2.13	P_{CU}	Upper power limit for normal continuous operation specified for each specific hydraulic energy (see figure 1).
2.2.14	P_{TU}	Upper power limit for temporary abnormal operation specified for each specific hydraulic energy (see figure 1).
2.2.15	P_{CL}	Lower power limit for normal continuous operation specified for each specific hydraulic energy ³⁾ (see figure 1).
2.2.16	Continuous normal operating range	Limited by P_{CU} and P_{CL} (see figure 1).
2.2.17	High turbine load temporary abnormal operating range	Limited by P_{CU} and P_{TU} (see figure 1).

²⁾ For full information, see IEC 60041.

³⁾ P_{CL} may be defined by the restricted needle stroke: 15 % of the maximum needle stroke, if not otherwise agreed.

2.2.18	S (cm)	Profondeur maximale absolue d'une zone érodée, à partir de la surface d'origine; voir également 2.3 pour plus d'explications (profondeur maximale garantie = $S_{\max}$).
2.2.19	S_1, S_2, S_3 etc.	Profondeur maximale d'une zone érodée particulière, à partir de la surface d'origine.
2.2.20	A (cm ²)	Surface totale de l'ensemble de la roue endommagée par l'érosion de cavitation: – intérieur de l'auget (points 3, 4, 5 et 6 de la figure 2), – extérieur de l'auget sur l'envers de l'arête médiane et de l'échancrure (points 1, 1a et 2 de la figure 2), et définie: a) soit comme l'ensemble des surfaces endommagées par érosion de cavitation et nécessitant une réparation (y compris celles qui ne nécessitent qu'un meulage), b) soit comme les seules surfaces présentant une profondeur d'érosion supérieure à une profondeur stipulée et fixée d'un commun accord, c) soit comme les seules surfaces qui nécessitent une réparation par apport de soudure (surface totale maximale garantie = $A_{\max}$).
2.2.21	A_1, A_2, A_3 etc. (cm ²)	Surfaces individuelles endommagées par la cavitation telles que définies en 2.2.20.
2.2.22	A_i (cm ²)	Surface totale endommagée de l'auget «i».
2.2.23	a	Coefficient définissant l'écart maximal autorisé par rapport à la valeur maximale garantie de la surface endommagée par auget (= $A_{\max} / z_2$); on aura: $a > 1$ (voir 3.2).
2.2.24	V (cm ³)	Volume de matière de l'ensemble de la roue enlevé par érosion de cavitation (volume total maximal garanti = $V_{\max}$).
2.2.25	k, k_1, k_2, k_3 , etc.	Coefficients utilisés dans le calcul approché du volume comme indiqué en 4.2.3 b).
2.2.26	C_R (cm, cm ² , cm ³)	Limite garantie de l'étendue de l'érosion de cavitation pour la durée de fonctionnement de référence ($C_R = S_{\max}, A_{\max}, V_{\max}$) ⁴).
2.2.27	C_A (cm, cm ² , cm ³)	Limite garantie de l'étendue de l'érosion de cavitation au moment de la vérification de l'érosion de cavitation.
2.2.28	B (m)	Largeur intérieure de l'auget (voir figure 2).
2.2.29	z_2	Nombre d'augets.

⁴) Exemples de valeurs maximales admissibles pour l'étendue de l'érosion de cavitation, à garantir pour la durée de référence (8 000 h): voir figure A.1, présentée en fonction de la largeur intérieure de l'auget B; voir également 3.2.

2.2.18	S (cm)	The absolute maximum depth of any pitted area measured from the original surface; for further explanation see also 2.3; (guaranteed maximum depth = $S_{\max}$).
2.2.19	S_1, S_2, S_3 , etc.	The maximum depth of a particular pitted area measured from the original surface.
2.2.20	A (cm ²)	Total area of the whole runner damaged by cavitation pitting: – inside of bucket (location 3, 4, 5 and 6 of figure 2), – outside of bucket in the range of back of splitter and cut-out (location 1, 1a and 2 of figure 2), 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 (guaranteed maximum total area = $A_{\max}$).
2.2.21	A_1, A_2, A_3 , etc. (cm ²)	Individual areas damaged by cavitation pitting as defined in 2.2.20.
2.2.22	A_i (cm ²)	Total damaged area of an individual bucket "i"
2.2.23	a	Coefficient defining the maximum allowed deviation from guaranteed maximum bucket area (= $A_{\max} / z_2$); it will be $a > 1$ (see 3.2).
2.2.24	V (cm ³)	Volume of material of the whole runner removed by cavitation pitting (guaranteed maximum total volume = $V_{\max}$).
2.2.25	k, k_1, k_2, k_3 , etc.	Coefficients used in approximate calculation of volume as indicated in 4.2.3 b).
2.2.26	C_R (cm, cm ² , cm ³)	Guaranteed limit of the amount of cavitation pitting for the reference duration of operation; ($C_R = S_{\max}, A_{\max}, V_{\max}$) ⁴⁾ .
2.2.27	C_A (cm, cm ² , cm ³)	Guaranteed limit of the amount of cavitation pitting at the time of cavitation pitting examination.
2.2.28	B (m)	Inner bucket width (see figure 2).
2.2.29	z_2	Number of buckets.

⁴⁾ Examples of maximum permissible values of cavitation pitting to be guaranteed for the reference duration (8 000 h): see figure A.1 with values as a function of inner bucket width B ; see also 3.2.

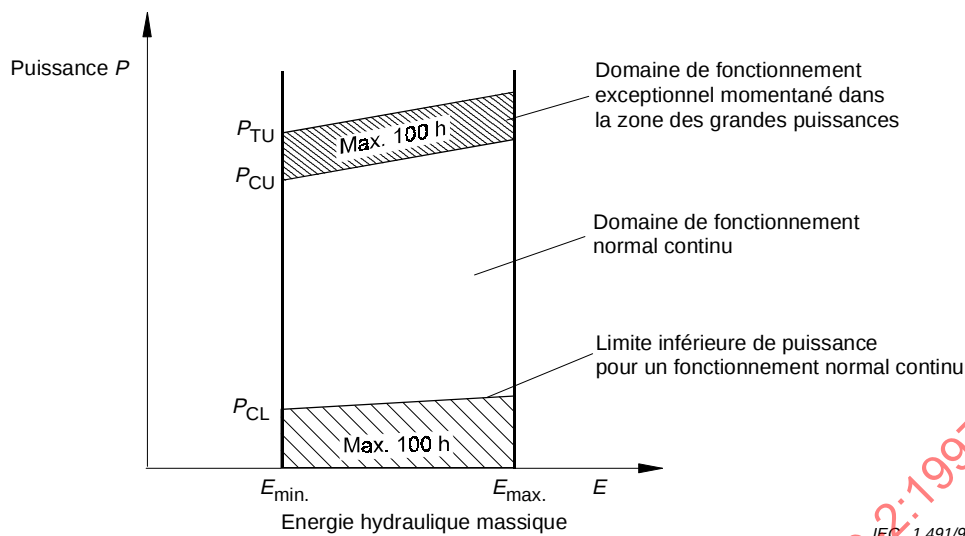


Figure 1 – Domaines de fonctionnement

2.3 Position des zones détériorées sur les augets Pelton et nature des dommages

On observe sur les augets Pelton différentes zones susceptibles de subir des détériorations provoquées par l'érosion de cavitation ou par l'érosion due aux impacts de jet (voir Introduction). La plupart de ces dommages se produisent sur la surface intérieure de l'auget. Ils peuvent être classés en fonction de leur position définie à la figure 2.

L'évaluation de l'étendue de l'érosion de cavitation, qui s'exprime par la profondeur S , la surface A ou le volume V (voir 3.2 à 4.2) est réalisée sans distinction entre les dommages liés à la cavitation et ceux dus aux impacts de jet.

En ce qui concerne la profondeur S , il faut préciser les points suivants:

- parmi les trois paramètres relatifs à l'étendue de la cavitation (profondeur S , surface A , volume V) la valeur absolue de la profondeur maximale S proprement dite a une incidence importante du point de vue de la résistance mécanique selon sa position sur l'auget;
- la profondeur S de l'érosion est définie sur une surface cavitée d'au moins $0,2 \text{ cm}^2$, à l'exception des petits trous isolés qui peuvent être provoqués par des phénomènes autres que la cavitation;
- l'érosion au voisinage ou au niveau des points sensibles, comme, par exemple, l'échancrure de l'auget (points 1, 2 et 3 de la figure 2) ne doit pas présenter une profondeur supérieure à la valeur la plus faible indiquée sur la figure A.1.

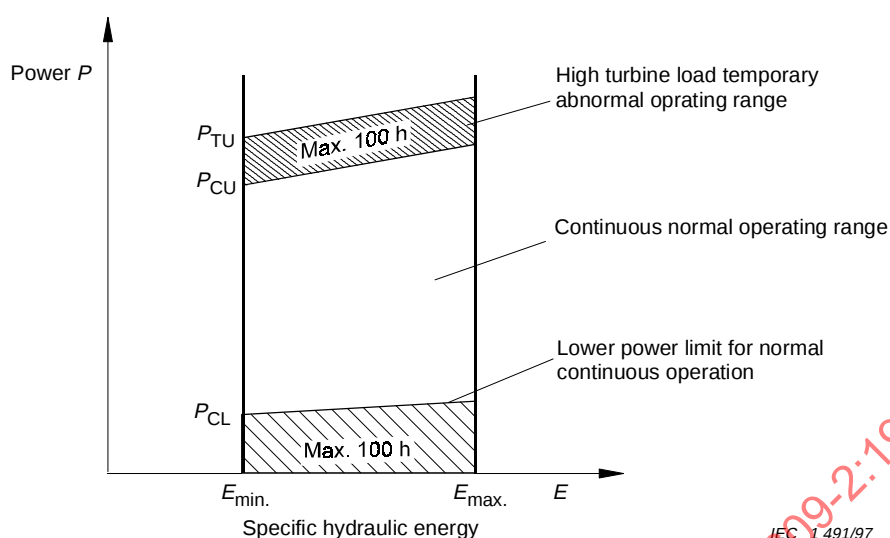


Figure 1 – Operating ranges

2.3 Location and type of damage to Pelton buckets

Various locations of damage due to cavitation pitting (i.e. cavitation pitting and/or drop erosion, see Introduction) to Pelton buckets may be observed, most of them at the inside of the bucket surface. They can be classified by the location which can be defined referring to figure 2.

The evaluation of the amount of cavitation pitting expressed in depth S , area A or volume V (see 3.2 to 4.2) is to be made independent of the question of the source of cavitation damage if caused by cavitation impact or by jet liquid impact.

Referring to the depth S , it is to be stated:

- Of the three parameters defining the amount of cavitation pitting (depth S , area A and volume V) the absolute value of maximum depth S is important, as far as the structural strength is concerned depending on the location.
- The depth S of pitting is defined in a cavitated area of at least $0,2 \text{ cm}^2$, excluding individual small holes which may be originated also by phenomena different from cavitation.
- Pitting near or at sensitive locations as for instance cut-out of the bucket at locations 1, 2 and 3 of figure 2 shall not have a greater depth than the lowest value shown in figure A.1.

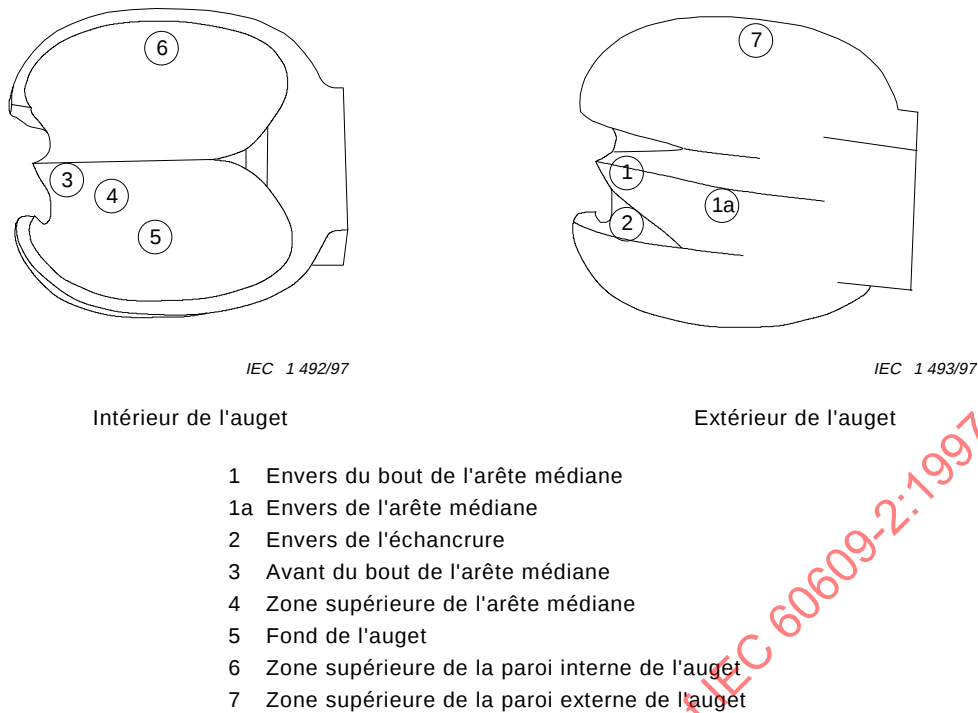


Figure 2 – Emplacement des dommages dus à l'érosion de cavitation

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

3.1 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 doivent être les mêmes que la période de garantie fixée d'un commun accord dans le contrat pour l'ensemble de la turbine Pelton.

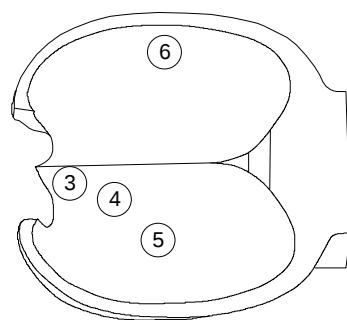
3.2 Définition de l'étendue de l'érosion de cavitation

Il convient que le contrat de fourniture comporte des stipulations régissant

- a) l'étendue d'érosion de cavitation à ne pas dépasser pendant une durée de fonctionnement de référence définie conformément à 3.3.1;
- b) les méthodes de mesure et de calcul à employer pour vérifier le respect de la garantie conformément à 4.2.

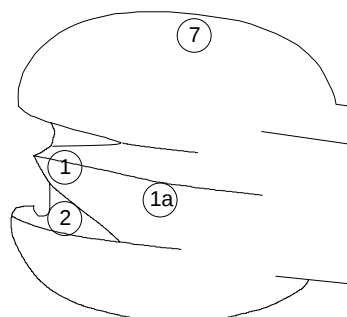
L'étendue garantie pour l'érosion de cavitation peut se référer à une limitation soit de la profondeur maximale S (définie en 2.2.18), soit de la surface A (définie en 2.2.20 avec l'une des possibilités a), b) ou c), comme indiqué) soit du volume enlevé V (défini en 2.2.24) ou à une limitation de la combinaison de deux ou trois de ces grandeurs.

La figure A.1 présente les valeurs limites garanties autorisées pour l'étendue de la cavitation $S_{\max}$, $A_{\max}$, $V_{\max}$ exprimées par C_R , pour la durée de fonctionnement de référence (voir 2.2.26 et 5.1).



IEC 1492/97

Inside bucket



IEC 1493/97

Outside bucket

- 1 Back of splitter tip
- 1a Back of splitter
- 2 Back of cut-out
- 3 Front of splitter tip
- 4 Upper zone of splitter
- 5 Bottom of bucket
- 6 Upper zone of inside bucket wall
- 7 Upper zone of outside bucket wall

Figure 2 – Location of damage due to cavitation pitting

3 Nature and extent of cavitation pitting guarantees

3.1 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 Pelton turbine as a whole.

3.2 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 3.3.1;
- b) the methods of measurement and calculations to be used for checking fulfilment of the guarantee in accordance with 4.2.

The guaranteed amount of cavitation pitting may refer to a limitation either of the maximum depth S (as defined in 2.2.18) or to the area A (as defined in 2.2.20 with alternative a), b) or c) as specified) or the volume removed V (as defined in 2.2.24) or to a limitation of any two or all three of these quantities.

Values for the guaranteed limit of permissible cavitation pitting $S_{\max}$, $A_{\max}$ and $V_{\max}$, and expressed by C_R for the reference duration of operation (see 2.2.26 and 5.1) are given in figure A.1.

Une seconde condition à respecter peut être l'importance de la surface endommagée A_i d'un auget pris individuellement, compte tenu des hétérogénéités et des disparités des érosions de chaque auget. Dans ce cas, on considérera:

- $A_i < a \times A_{\max} / z_2$
les définitions de A_i , a et z_2 sont données en 2.2.22, 2.2.23 et 2.2.29.
- $1,5 < a \leq 2,0$
sauf accord contraire, on considère que $a = 2,0$.

3.3 Domaines et durée de fonctionnement

Pour établir la garantie relative à l'érosion de cavitation et pour vérifier si elle a été satisfaite, il est nécessaire de préciser les domaines admissibles de fonctionnement en termes d'énergie hydraulique massique et de puissance (voir figure 1) ainsi que la durée de fonctionnement de référence correspondante.

L'énergie hydraulique massique, la puissance et les heures de fonctionnement doivent être enregistrées pendant la période de garantie. Le contractant doit avoir la possibilité de vérifier que les conditions convenues ont été respectées.

3.3.1 Durée de fonctionnement de référence

Indépendamment de la période convenue de garantie de la cavitation mentionnée en 3.1, la durée de fonctionnement de référence doit être, sauf accord contraire, de 8 000 h, quelle que soit la période de garantie. Elle doit servir de base pour établir (voir annexe A) et vérifier la garantie d'érosion de cavitation (voir 4.2).

Pour toute autre durée de fonctionnement, on peut appliquer une relation linéaire entre la durée et l'étendue de l'érosion de cavitation, selon la formule de référence convenue en 5.1.

L'influence de la charge (puissance) qui existe principalement surtout pour des grands rapports entre le diamètre du jet et la largeur de l'auget ne peut pas encore être prise en considération, faute d'une expérience suffisante.

3.3.2 Durée réelle de fonctionnement

Tout temps de fonctionnement antérieur à la vérification de l'érosion de cavitation doit être relevé sur les enregistrements du fonctionnement de la centrale. Il doit être divisé en différentes périodes de temps: celles qui correspondent à la marche dans le domaine du fonctionnement normal continu, celles qui correspondent à un fonctionnement exceptionnel momentané à forte charge ou au-dessous de la limite inférieure de puissance P_{CL} (voir figure 1)

Sauf accord contraire, la garantie ne doit plus s'appliquer si, au cours de la durée réelle de fonctionnement, celui-ci dépasse ce qui suit:

- a) dans le domaine de fonctionnement exceptionnel momentané de grande puissance turbinée défini en 2.2.17: 100 h;
- b) au-dessous de la limite inférieure de puissance P_{CL} en fonctionnement normal continu, définie en 2.2.15: 100 h.

3.3.3 Conditions spéciales

Les durées des démarrages et des arrêts de la turbine Pelton doivent être comprises dans la durée réelle de fonctionnement.

A second condition for the damaged area can also be the amount of damaged area A_i of an individual bucket, taking into account the non-uniformity / disparity in cavitation pitting from one bucket to another one. In this respect, the following will apply:

- $A_i < a \times A_{\max} / z_2$
definitions for A_i , a and z_2 are given in 2.2.22, 2.2.23 and 2.2.29.
- $1,5 < a \leq 2,0$
If not otherwise agreed, it is assumed $a = 2,0$.

3.3 Operating ranges and duration of operation

To establish the cavitation pitting guarantee and to determine whether the guarantee has been met, it is necessary to specify precisely the permissible machine operating range in terms of specific hydraulic energy and power (see figure 1) together with the corresponding reference duration of operation.

The specific hydraulic energy, power and operating hours shall be recorded during the guarantee period. The turbine contractor shall be given the opportunity to verify whether the agreed conditions have been respected.

3.3.1 Reference duration of operation

In addition to the agreed cavitation guarantee period (see 3.1) the reference duration – unless otherwise agreed – shall be 8 000 h (irrespective of the guarantee period) and serve as a basis for establishing (see annex A) and checking the cavitation pitting guarantee (see 4.2).

For any other agreed reference duration the linear correlation between duration and amount of cavitation pitting analogous to the formula in 5.1 can be applied.

The influence of load (power) which exists, especially at large ratios of jet diameter to bucket width, cannot be considered due to limited current experience.

3.3.2 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 operation within continuous normal operating range and in the high turbine load temporary abnormal operating range and below the lower power limit P_{CL} (see figure 1).

Unless otherwise agreed, the cavitation guarantee shall become invalid if the following duration of operation is exceeded within the actual duration of operation:

- a) high turbine load temporary abnormal operating range, as defined in 2.2.17: 100 h;
- b) below the lower power limit P_{CL} for normal continuous operation as defined in 2.2.15: 100 h.

3.3.3 Special conditions

The times required for the start-up and shut-down operations of the Pelton turbine shall be included in the actual duration of operation.

Il est recommandé de limiter les fonctionnements de la turbine à des puissances inférieures à P_{CL} aux phases de démarrage et d'arrêt. Les périodes pendant lesquelles la turbine Pelton fonctionne sans eau ne doivent pas être comptabilisées dans la durée réelle de fonctionnement.

4 Modalités d'exécution des essais

4.1 Réparation, pendant la période de garantie, des dommages dus à la cavitation

Le fournisseur de la turbine doit avoir la possibilité de vérifier l'état de la machine, après une durée de fonctionnement raisonnable à fixer d'un commun accord avec le client (par exemple 200 h ou 500 h), et d'y effectuer, pendant une période convenue, tous les travaux jugés nécessaires.

Si, avant la fin de la période de garantie, le fournisseur de la turbine réalise

- des réparations importantes de dommage de cavitation, et/ou
- des modifications substantielles des formes des composants sujets à des risques de cavitation
(ces interventions étant réalisées par meulage ou par soudage)

alors la durée de fonctionnement de la garantie définie en 2.2.6 débutera à la remise en service de la turbine.

Si ces réparations ou modifications sont de faible importance, c'est-à-dire si elles se limitent à un léger meulage et un polissage, la période de garantie de cavitation peut être d'un commun accord considérée comme non interrompue.

4.2 Mesure et calcul de l'étendue de l'érosion de cavitation

Sauf accord contraire, lorsque les mesures de l'étendue de l'érosion de cavitation sont destinées à vérifier que la garantie est respectée, le client et le fournisseur doivent faire ces mesures en commun. Il convient qu'une telle vérification soit faite avant l'expiration de la période de garantie de cavitation ou de la durée de fonctionnement garantie spécifiée dans le contrat.

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

4.2.1 La profondeur maximale S d'une zone érodée doit être déterminée au moyen d'une jauge de profondeur et à l'aide d'un gabarit ou d'un autre appareil convenable qui, reposant sur les parties non érodées de l'auget considéré, reproduit, avec une précision suffisante, le contour d'origine de la surface ayant subi une perte de matière (voir également les remarques en 2.3).

4.2.2 Il convient que *chaque zone érodée de surface* A soit de préférence délimitée au moyen d'une peinture adéquate, en particulier si les contours sont irréguliers et si la surface présente une courbure dans les trois dimensions, pour être reproduite par contact sur un papier indéformable. La surface considérée peut alors être déterminée par planimétrie ou, dans le cas d'un papier millimétré, en comptant les carreaux.

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

Dans le cadre de la garantie, on ne comptabilisera la surface comme érodée que si la profondeur d'érosion est supérieure à 0,05 cm.

Operation of the turbine below P_{CL} should be limited to starting and stopping sequences. The times during which the Pelton turbine is operating with the runner rotating in air shall be excluded from the actual duration of operation.

4 Test procedure

4.1 Repair of cavitation pitting during the guarantee period

The turbine contractor shall have the opportunity to inspect the turbine, after a reasonable operating period (e.g. 200 h or 500 h) to be agreed upon with the user, and to carry out within an agreed period any work which he considers necessary.

If before the end of the guarantee period, the turbine contractor makes

- substantial repairs to cavitation pitting damage, and/or
- significant changes in the shape of components subject to the risk of cavitation (both measures being made by grinding and/or welding)

then the actual duration of the cavitation guarantee as defined in 2.2.6 shall commence from the time the turbine is put into operation again.

If such repairs or changes are of minor nature, i.e. if repair can be made by slight grinding and polishing, the cavitation 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 fulfillment of the guarantee, the purchaser 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 by grinding for a repair by welding.

4.2.1 *The maximum depth S 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 bucket part under consideration, reproduce the original contours of the area with satisfactory accuracy in the zone where material has been lost (see also remarks in 2.3).*

4.2.2 *The individual damaged area A 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 uncertainty shall not exceed $\pm 10\%$.

The area of pitting to be considered for guarantee purposes has to have a depth of pitting greater than 0,05 cm.

4.2.3 La *perte de matière*, définie par le volume V , doit être mesurée par une méthode compatible avec la garantie, comme suit:

- a) *par mesure directe* du volume de pâte plastique utilisée pour retrouver la forme d'origine de la surface non érodée, en s'en servant comme négatif. Dans le cas où les dommages dus à la cavitation se produisent sur une surface tridimensionnelle, il est recommandé de vérifier la forme de la surface au moyen de gabarits ou d'autres appareils adéquats.

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

- b) *par calcul approché*, qui, sauf accord contraire, peut être fait par l'une des formules suivantes:

$$V = (k_1 S_1 A_1 + k_2 S_2 A_2 + \dots)$$

ou

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

où les valeurs de $k_1, k_2, \dots$ ou k sont choisies d'un commun accord en fonction de la forme des zones érodées,

ou encore par la formule simplifiée suivante:

$$V = 0,5 \sum S_i A_i$$

5 Calcul des résultats

5.1 Respect de la garantie

La garantie relative à l'érosion de cavitation est respectée si, après une durée de fonctionnement comprise dans les plages convenues conformément à 3.3, l'étendue de l'érosion de cavitation mesurée (compte tenu des incertitudes de mesure) sur les parties considérées de la turbine ne dépasse pas les valeurs spécifiées en accord avec 3.3, corrigées d'après la formule suivante:

$$C_A = C_R \times (t_A/t_R)$$

Les définitions sont données en 2.2 (voir 2.2.27 pour C_A ; 2.2.26 pour C_R ; 2.2.8 pour t_A et 2.2.7 pour t_R).

Il convient que l'écart entre la durée réelle de fonctionnement au moment de l'inspection (voir 2.2.8) et la durée de fonctionnement de référence (voir 2.2.7) soit aussi faible que possible et que la marge acceptable pour cet écart soit fixée d'un commun accord dans le contrat. Il convient que l'étendue de l'érosion de cavitation soit déterminée au moyen des méthodes de mesure décrites en 4.2. Les méthodes de mesure choisies doivent être spécifiées dans le contrat.

Dans le cas où l'on a garanti l'absence d'érosion de cavitation dans tous les domaines de fonctionnement possibles spécifiés au contrat, la garantie n'est pas respectée si une érosion apparaît pendant le fonctionnement et si cette érosion est clairement attribuable à la cavitation.

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

- a) *by direct measurement* of the volume of a plastic filler (plastic compound) required to restore the original undamaged surface shape and used to get a negative print. 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 uncertainty shall not exceed $\pm 15\%$.

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

$$V = (k_1 S_1 A_1 + k_2 S_2 A_2 + \dots)$$

or

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

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:

$$V = 0,5 \sum S_i A_i$$

5 Computation of results

5.1 Fulfilment of the guarantee

The cavitation pitting guarantee has 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 turbine does not exceed the quantities specified in agreement with 3.3, corrected using the formula

$$C_A = C_R \times (t_A/t_R)$$

Definitions are given in 2.2 (C_A in 2.2.27, C_R in 2.2.26, t_A in 2.2.8 and t_R in 2.2.7).

The difference between the actual duration of operation at the time of making the inspection (see 2.2.8) and the reference duration of operation (see 2.2.7) should be as small as possible. The permissible range of this difference should be mutually agreed upon in the contract. The amount of cavitation pitting is to be determined by using the measuring methods described in 4.2. The chosen measuring methods shall be specified in the contract.

If operation without cavitation has been guaranteed for all the possible operating ranges specified in the contract, the guarantee has not been met if pitting occurs in operation and if such pitting is clearly attributable to cavitation.