NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
994

Première édition
First edition
1991-01

Guide pour la mesure *in situ* des vibrations et fluctuations sur machines hydrauliques (turbines, pompes d'accumulation et pompes-turbines)

Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)

© IEC 1991 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 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 XB

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

Publication 60994 de la CEI
(Première édition - 1991)

Guide pour la mesure *in situ* des vibrations et fluctuations sur machines hydrauliques (turbines, pompes d'accumulation et pompes-turbines)

IEC Publication 60994
(First edition - 1991)

Guide for field measurement of vibrations and pulsations in hydraulic machines (turbines, storage pumps and pump-turbines)

CORRIGENDUM 1

Page 6 - AVANT-PROPOS

Dans la liste des publications citées de la CEI, à la cinquième ligne, au lieu de

*** Actuellement document 4(Bureau Central)48

lire:

CEI 41 (1991): Essais de réception sur place des turbines hydrauliques, pompes d'accumulation et pompes-turbines en vue de la détermination de leurs performances (troisième édition)

Corrections en anglais uniquement

Page 7 - PREFACE

In the list of other IEC publications quoted, fifth line, instead of

*** At present Document 4(Central Office)48

read:

IEC 41 (1991): Field acceptance tests to deter- mine the hydraulic performance of hydraulic turbines, storage pumps and pump-turbines (third edition)

Page 17 – Subclause 2.3.2.7

In the definitions column, third line, instead of ...quantity. *A* is... *read* ...**quantity, *A* is**... (comma instead of full stop) *

Page 19

In the footnote, at end of first line, instead of ...*N* in the denomination... *read* ...*N* in the denomin**ator**...

Page 21

In the definitions column, fifth line, instead of ...function, *X*(*t*) over... *read* ...**function *X*(*t*) over**... (no comma)

Page 25 – 2.3.4.11

In the definitions column, first and second line, instead of ...length of the connecting pipe connecting the pressure transducer... *read* ...**length of the pipe connecting the pressure transducer**...

Page 41 – 4.1.1

In item d), second and third line, instead of ...unbalance; also and if... *read* ...**unbalance and also if**...

4.1.3 - *In the first line, instead of* ...to the machine water passages... *read* ...**to the water passages**...

---

* Bold types are for clarity only

Corrections en anglais uniquement

Page 49 – 5.2.3

In the eighth line, instead of ...in the draft tube at a distance of 0.5 D_5 to 1.0 D_5 from... *read* ...**0.5 to 1.0 times the suction diameter of the runner (D_S) from**...

Tenth line, instead of ...0.2 D_5 – 0.8 D_5 from... *read* ...**0.2 D_S – 0.8 D_S from**...

Eleventh line, instead of ...D_5 being... *read* ...**D_S being**...

Twelfth line, instead of ...outer contour of the elbow, *read* ...**outer side of the elbow.**

Page 51 – 5.2.10

Item b), instead of ...thrust bearing load pulsations, by means of strain measurements on every bearing element; *read* ...**thrust bearing load pulsations, on every bearing element by means of strain measurements;**

Page 53 – 5.6.1

In item b), first line, instead of ...and runner blade angle... *read* ...**and runner/impeller blade angle**...

Page 55 – 5.7.4

In the second line, instead of ...position of a runner vane or nozzle and/or guide blade... *read* ...**position of a guide vane or nozzle and/or runner blades**...

Page 58 – 6.1.1

Au point b), au lieu de
Limite supérieure de fréquence**:
— turbines Pelton:
lire **Limite supérieure de fréquence:**
— turbines Pelton**

Corrections en anglais uniquement

Page 59 – 6.1.1

In item b), instead of Upper frequency**:
— for Pelton turbines:
read **Upper frequency:**
— for Pelton turbines**

In the first footnote (*), end of first line, instead of ...lower than the vortex rope... *read* ...**lower than the suction vortex**...

Page 65 – 6.3.5

In the second line, instead of ...any measuring point. *read* ...**any measuring operating condition.**

Page 71 – Clause 6.8

In the seventh line (second dash), remove the words ...(see Figure 7)... *and place them in next line so as to obtain* ...**are eliminated (see Figure 7).**

Page 85 – 8.3

In the seventh line, instead of ...A/D conversion... *read* ...**A/D (analog to digital) conversion**...

Page 95 – 9.2.4

Ninth line, instead of Only in the last case is phase information preserved, *read:* **Only in the last case phase information is preserved.**

Page 99 – 10.3

In the second line, instead of ...should be agreed with the concerned parties,... *read* ...**should be agreed between the concerned parties,**...

Page 103 – Clause A2.

In the last but one line, instead of ...conversion of the signals from the three signals... *read* ...**conversion of the three signals**...

Page 108 – Article B2.

Dans la dernière formule de la page, ajouter un signe moins à la suite du second signe égale (= −)

Page 109 – B2.

In the last formula of the page, add a minus sign just after the second equal sign (= −)

Corrections en anglais uniquement

Page 115 – C7.

In the fifth line (third dash), instead of (...recorder or plotter, output)... *read* **(...recorder or plotter output)**... (no comma)

Page 117 – Figure C1.

In the heading of the table, last column, instead of Conditions test/... *read* **Test conditions/...**

Page 118 – Figure C2.

Sous le tableau, à la cinquième ligne (4ème tiret), au lieu de

– rendement de la pompe ou de la turbine,

lire

– rendement de la pompe ou de la turbine, **etc.**

Page 119 – Figure C2.

Below the table, fifth line (4th dash), instead of

– turbine or pump efficiency,

read

– turbine or pump efficiency, **etc.**

Page 132 – Figure D1.

Dans le schéma, au lieu de II_B *lire* II

Page 133 – Figure D1.

In the diagram, instead of II_B *read* II

SOMMAIRE

Pages

PRÉAMBULE 6
PRÉFACE 6
INTRODUCTION 8

SECTION UN – GÉNÉRALITÉS

Articles

1. Domaine d'application et objet 10
   1.1 Domaine d'application 10
   1.2 Objet 10
   1.3 Restrictions 12
2. Termes, définitions, symboles et unités 12
   2.1 Unités 12
   2.2 Termes 12
   2.3 Liste des termes spécifiques à ce guide 14
   2.4 Classification des machines hydrauliques 26
3. Garanties 40

SECTION DEUX – EXÉCUTION DES ESSAIS

4. Conditions à remplir pour l'essai 40
   4.1 Conditions de fonctionnement dans lesquelles sont réalisées les mesures 40
   4.2 Vérification sur la machine avant le début des essais 42
5. Procédure d'essai 42
   5.1 Paramètres déterminant le point de fonctionnement 42
   5.2 Grandeurs vibratoires et fluctuantes à mesurer et localisation des points de mesure 46
   5.3 Personnel 50
   5.4 Accord sur la procédure d'essai 50
   5.5 Programme d'essais 52
   5.6 Préparation des essais 52
   5.7 Observations 54
   5.8 Reprise des essais 56

SECTION TROIS – MÉTHODES DE MESURE, SAISIE ET TRAITEMENT DES DONNÉES

6. Considérations relatives aux méthodes de mesure 58
   6.1 Vibrations 58
   6.2 Vibrations radiales de l'arbre par rapport aux paliers 64
   6.3 Fluctuations de pression 64
   6.4 Contraintes 66
   6.5 Fluctuations du couple sur l'arbre 66
   6.6 Fluctuations de la vitesse de rotation 70
   6.7 Fluctuations de puissance 70
   6.8 Fluctuations du couple sur les directrices 70
   6.9 Fluctuations de poussée radiale sur les paliers-guides 70
   6.10 Fluctuations de poussée axiale sur le palier de butée 74
   6.11 Grandeurs mesurées définissant le point de fonctionnement de la machine 74

CONTENTS

Page

FOREWORD 7
PREFACE 7
INTRODUCTION 9

SECTION ONE – GENERAL

Clause

1. Scope and object 11
   1.1 Scope 11
   1.2 Object 11
   1.3 Excluded topics 13
2. Terms, definitions, symbols and units 13
   2.1 Units 13
   2.2 Terms 13
   2.3 List of terms specific to this guide 15
   2.4 Classification of hydraulic machines 27
3. Guarantees 41

SECTION TWO – EXECUTION OF TESTS

4. Test conditions to be fulfilled 41
   4.1 Operating conditions under which measurements are performed 41
   4.2 Checks on the machine before the beginning of tests 43
5. Test procedure 43
   5.1 Parameters determining the operating point 43
   5.2 Vibration and pulsation quantities to be measured and locations of measuring points 47
   5.3 Personnel 51
   5.4 Agreement of test procedure 51
   5.5 Test programme 53
   5.6 Preparations for tests 53
   5.7 Observations 55
   5.8 Repetition of tests 57

SECTION THREE – METHODS OF MEASUREMENT, DATA ACQUISITION AND PROCESSING

6. Considerations relating to the methods of measurement 59
   6.1 Vibrations 59
   6.2 Radial vibrations of the shaft relative to the bearings 65
   6.3 Pressure pulsations 65
   6.4 Stresses 67
   6.5 Shaft torque pulsations 67
   6.6 Rotational speed pulsations 71
   6.7 Power pulsations 71
   6.8 Guide vane torque pulsations 71
   6.9 Radial thrust pulsations measured at the guide bearings 71
   6.10 Axial thrust pulsations measured at the thrust bearing 75
   6.11 Measured quantities defining the machine operating point 75

7. Étalonnage 74
7.1 Généralités 74
7.2 Etalonnage direct 76
7.3 Etalonnage par signaux électriques de référence 80
8. Enregistrement 82
8.1 Enregistreurs graphiques 82
8.2 Enregistreurs à bande magnétique 84
8.3 Enregistrement numérique 84
9. Saisie et traitement des données 86
9.1 Généralités 86
9.2 Choix des méthodes de traitement des données 88
10. Incertitudes de mesure 96
11. Rapport final 98

ANNEXE A — Formules de calcul des contraintes principales et de traitement des signaux dans les mesures de déformations dynamiques à l'aide de rosettes 100
ANNEXE B — Formules de calcul du couple sur un arbre cylindrique plein et de la charge axiale sur une biellette de section rectangulaire ou cylindrique selon la technique des jauges extensométriques 108
ANNEXE C — Exemple de rapport final 112
ANNEXE D — Distorsion des mesures de fluctuations de pression pour des capteurs montés avec conduit de raccordement 130

7. Calibration 75
7.1 General 75
7.2 Direct calibration 77
7.3 Calibration by electrical reference signals 81
8. Recording 83
8.1 Graphical recorders 83
8.2 Magnetic tape recorders 85
8.3 Digital recording 85
9. Data acquisition and processing 87
9.1 General 87
9.2 Selection of data processing methods 89
10. Measurement uncertainties 97
11. Final report 99

APPENDIX A — Formulae for calculating principal stresses and signal processing for dynamic strain measurements with rosettes 101
APPENDIX B — Formulae for calculating the torque on a cylindrical solid shaft and the axial load on a rectangular or circular section link using the strain gauge technique 109
APPENDIX C — Example of final report 113
APPENDIX D — Distortion of pressure pulsation measurements for transducers mounted with connecting pipe 131

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

GUIDE POUR LA MESURE *IN SITU* DES VIBRATIONS ET FLUCTUATIONS SUR MACHINES HYDRAULIQUES (TURBINES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES)

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
4(BC)45	4(BC)50

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

Les publications suivantes de la CEI sont citées dans la présente norme:

Publications n^{os}
- 184 (1965): Méthodes de spécification des caractéristiques relatives aux transducteurs électromécaniques destinés aux mesures de chocs et de vibrations.
- 222 (1966): Méthodes de spécification des caractéristiques relatives à l'équipement auxiliaire pour les mesures de chocs et de vibrations.
- *** Actuellement document 4(Bureau Central)48.

Autres publications citées:

Normes ISO
- 2041 (1975): Vibrations et chocs — Vocabulaire. Edition bilingue.
- 3945 (1985): Vibrations mécaniques des grandes machines tournantes dans la gamme des vitesses comprises entre 10 et 200 tr/s — Mesurage et évaluation de l'intensité vibratoire *in situ*.
- 5347-0 (1987): Méthodes pour l'étalonnage des capteurs de vibrations et de chocs — Partie 0: Concepts de base.
- 5348 (1987): Vibrations et chocs mécaniques — Fixation mécanique des accéléromètres.
- 7919-1 (1986): Vibrations mécaniques des machines non alternatives — Mesurages sur les arbres tournants et évaluation — Partie 1: Directives générales.
- 8042 (1988): Mesurage des chocs et des vibrations — Caractéristiques à spécifier pour les capteurs sismiques.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

GUIDE FOR FIELD MEASUREMENT OF VIBRATIONS AND PULSATIONS IN HYDRAULIC MACHINES (TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES)

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by IEC Technical Committee No. 4: Hydraulic turbines.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
4(CO)45	4(CO)50

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

Other IEC Publications quoted in this standard:

Publication Nos. 184 (1965): Methods for specifying the characteristics of electro-mechanical transducers for shock and vibration measurements.
222 (1966): Methods for specifying the characteristics of auxiliary equipment for shock and vibration measurement.
*** At present Document 4(Central Office)48.

Other publications quoted:

ISO standards 2041 (1975): Vibration and shock — Vocabulary. Bilingual edition.
3945 (1985): Mechanical vibration of large rotating machines with speed range from 10 to 200 tr/s — Measurement and evaluation of vibration severity *in situ*.
5347-0 (1987): Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 0: Basic concepts.
5348 (1987): Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers.
7919-1 (1986): Mechanical vibration of non-reciprocating machines — Measurements on rotating shafts and evaluation — Part 1: General guidelines.
8042 (1988): Shock and vibration measurements — Characteristics to be specified for seismic pick-ups.

GUIDE POUR LA MESURE *IN SITU* DES VIBRATIONS ET FLUCTUATIONS SUR MACHINES HYDRAULIQUES (TURBINES, POMPES D'ACCUMULATION ET POMPES-TURBINES)

INTRODUCTION

Dans une machine en fonctionnement, on constate toujours l'existence de fluctuations et de vibrations qui ne peuvent être évitées et qui ne compromettent pas par elles-mêmes la vie de l'installation où on les observe. Elles sont quantitativement fonction de nombreux facteurs tels que le type d'écoulement dans les conduits hydrauliques sous différentes conditions d'exploitation de l'installation, les particularités de conception mécanique ainsi que la qualité de la construction, du montage et de l'entretien. Ce n'est que quand certaines parties de la machine ou de l'installation sont soumises à des efforts dangereux pour sa résistance ou quand des perturbations inacceptables sont transmises à son environnement, que ces fluctuations et ces vibrations peuvent être qualifiées d'excessives.

Dans des cas extrêmes, les vibrations des machines hydrauliques peuvent entraîner la formation de fissures, voire la rupture de certaines pièces par fatigue*.

Des vibrations excessives sur les machines hydrauliques, non seulement réduisent leur durée de bon fonctionnement, mais se répercutent aussi sur le fonctionnement des systèmes et instruments de commande et influent sur le comportement des structures connectées ainsi que sur l'état de santé du personnel.

La mesure des caractéristiques des fluctuations et des vibrations, ou de préférence de leurs effets, doit être faite conformément au présent guide qui fournit également les informations nécessaires pour déduire la valeur des grandeurs physiques des indications des appareils de mesure.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut seulement espérer que des mesures réalisées conformément au présent guide feront apparaître une caractéristique fondamentale permettant de lier statistiquement les fluctuations et les vibrations à leurs effets, avec un intervalle de confiance acceptable.

L'étude vibratoire d'une machine hydraulique est une opération longue et difficile donc coûteuse (notamment en disponibilité), qui ne doit être entreprise que si des mesures limitées de sollicitation ou de mouvement font craindre un danger réel. Le but d'une telle étude est, si possible, de supprimer la source des sollicitations excessives après l'avoir identifiée ou, à défaut, de définir une procédure d'exploitation réduisant ces sollicitations à un niveau acceptable. Les sources de perturbations sont nombreuses mais un très petit nombre d'entre elles, voire une seule, crée une réelle difficulté sur une machine donnée.

En règle générale, l'état vibratoire d'une machine hydraulique s'évalue par des essais qui consistent à mesurer la vibration en divers points caractéristiques de la structure. Un montage expérimental standard, conçu en fonction de la pratique et de l'expérience réunies, devrait suffire à donner des indications suffisantes sur l'état vibratoire général de la machine. L'examen des résultats ainsi obtenus peut néanmoins attirer parfois l'attention sur de fortes amplifications locales (résonances) de certaines pièces vitales de la machine; si tel est effectivement le cas, il convient de se livrer à un examen plus approfondi des pièces en question par un montage d'essai approprié. Le

---

* Par le passé, les défaillances imputables à la fatigue étaient chose rare dans les machines hydrauliques. Toutefois, la tendance actuelle à l'augmentation des charges spécifiques et à l'économie de matière dans la conception des machines hydrauliques entraîne une diminution de la rigidité dynamique de la structure, ce qui peut accroître le risque d'un excès de vibrations dans les machines de conception récente. L'accroissement des dimensions des installations dû à l'augmentation de leur capacité peut, lui aussi, entraîner un abaissement des fréquences caractéristiques de vibration de la machine ou de certains de ses éléments (directrices, etc.) Les fréquences en question pourraient donc entrer plus facilement en interaction avec les fréquences des oscillations hydrauliques et, le cas échéant, électriques du système (ou avec leurs harmoniques).

GUIDE FOR FIELD MEASUREMENT OF VIBRATIONS AND PULSATIONS IN HYDRAULIC MACHINES (TURBINES, STORAGE PUMPS AND PUMP-TURBINES)

INTRODUCTION

On a machine in service, pulsations and vibrations which cannot be avoided and which do not affect by themselves the service life of the plant where they occur, can always be observed. Their values depend on many factors, among which are the flow pattern in the water passages under different operating conditions of the unit, peculiarities of the design as well as the thoroughness of manufacture, erection and maintenance. Such pulsations and vibrations can be considered as detrimental only when certain parts of the machine or of the plant are subject to forces that may impair its resistance or when unacceptable disturbances are carried to its environment.

In extreme cases, vibrations in hydraulic machines can result in the formation of cracks and even in fracture of components due to fatigue*.

Excessive vibration in hydraulic machines not only can reduce their trouble-free service life but can also affect operation of governing systems and instruments, the behaviour of the attached structures and the health of personnel.

Measurement of pulsation and vibration characteristics or, preferably, of their effects is to be carried out in accordance with this guide which also gives the information necessary to derive the value of the physical quantities from the readings of the measuring instruments.

Given the present state of knowledge, it can only be hoped that measurements made in compliance with this guide will reveal a basic characteristic making it possible to relate pulsations and vibrations to their effects statistically, with an acceptable confidence level.

Vibration studies of a hydraulic machine represent a long and difficult operation and hence are expensive (particularly as regards the non-availability of the machine) and therefore should be undertaken only if a limited number of measurements of stresses or movements indicates the possibility of a real danger. The purpose of such work is, if possible, to eliminate the source of detrimental loadings after having identified it or, should this not be practicable, to define an operating procedure reducing such loadings to an acceptable level. There are many sources of disturbances but a very small number of them, and even one only, may create a real problem on a given machine.

As a rule, the vibrational state of a hydraulic machine is assessed from tests in which the vibration is measured at individual characteristic points of the structure. A standard experimental set-up, designed on the basis of good practice and experience, should already yield sufficient indications about the general vibrational conditions of the machine. However, examination of results thus acquired can sometimes point to strong local amplification (resonance) in some vital parts of the machine; if such is the case, the affected part(s) should be more closely investigated by means of an appropriate experimental arrangement. Flow pattern in the water passages may have

---

* In previous years fatigue failures in hydraulic machines were few in number. However, the current tendency to increase specific loads and to save material in the design of hydraulic machines can lead to lowering of dynamic rigidity of the structure, which may increase the risk of vibration in newly designed machines. Also the increase in geometrical dimensions stemming from increasing unit capacity can lead to a lowering of characteristic vibration frequencies of the machine or of some parts thereof (guide vanes, etc.). Thus the frequencies in question could more easily interact with the frequencies of hydraulic and/or electrical oscillations in the system (or harmonics thereof).

type d'écoulement dans les conduits hydrauliques peut avoir un effet important sur les vibrations des machines hydrauliques. Pour obtenir une analyse précise des vibrations, il est courant de comparer les mesures de vibrations effectuées en des endroits appropriés (voir 5.2.1 et 5.2.2) avec des mesures de fluctuations* d'autres paramètres importants, effectuées également en des endroits appropriés. Ces autres paramètres peuvent être:

— fluctuations de pression (voir 5.2.3);

— fluctuations des déformations locales et des contraintes correspondantes (voir 5.2.4);

— fluctuations du couple sur l'arbre (voir 5.2.5);

— fluctuations de la vitesse de rotation (voir 5.2.6);

— fluctuations de la puissance (voir 5.2.7);

— fluctuations du couple sur les directrices (voir 5.2.8);

— fluctuations de la poussée radiale sur les palier-guides (voir 5.2.9);

— fluctuations de la poussée axiale sur le palier de butée (voir 5.2.10);

et, si besoin est, d'autres paramètres encore.

Il est hors de question que les mesures énumérées dans le présent guide soient toujours toutes effectuées.

SECTION UN — GÉNÉRALITÉS

1. **Domaine d'application et objet**

1.1 *Domaine d'application*

1.1.1 Le présent guide s'applique à tout type de turbine à réaction ou à action, ainsi qu'à tout type de pompe-turbine et de pompe d'accumulation, couplée à un alternateur ou à un moteur.

1.1.2 Le présent guide couvre le domaine des essais de vibrations et de fluctuations qualifiés d'essais standards.

Les objectifs de ces essais sont les suivants:

— Evaluation de la conception de machines hydrauliques et de la qualité de la construction du point de vue des vibrations**.

— Evaluation des modifications du comportement vibratoire durant la vie de la machine.

— Proposition de recommandations s'appliquant au fonctionnement de l'installation (choix des séquences de transitoires les plus appropriées par exemple).

— Aide à l'analyse en cas d'anomalie ou d'incident.

1.1.3 Si, dans certains cas, il n'est pas possible d'appliquer les recommandations de ce guide, soit en raison de l'agencement de la machine hydraulique soit parce que, dans tel cas précis, il n'est pas nécessaire d'effectuer certaines mesures, celles-ci pourront être omises après accord préalable entre le constructeur et l'utilisateur.

1.2 *Objet*

1.2.1 Etablir des règles uniformes à appliquer lors d'essais de vibrations et de fluctuations. Etablir des méthodes de mesure et de traitement des données d'essais.

---

* Par le terme «fluctuation», on entend dans ce guide une variation périodique (ou quasi périodique), indépendamment de sa fréquence.

** Les recommandations relatives à l'évaluation de l'état vibratoire et fluctuant de la machine ne seront pas élaborées tant que des données systématiques n'auront pas été collectées conformément au présent guide et n'auront pas été interprétées de façon adéquate.

important effects on the vibrations of hydraulic machines. In order to obtain an accurate vibration analysis, it is common practice to relate appropriately located measurements of vibrations (see 5.2.1 and 5.2.2) with appropriately located measurements of pulsations* of other important quantities, such as:

- pressure pulsations (see 5.2.3);
- pulsations of local strains and corresponding stresses (see 5.2.4);
- shaft torque pulsations (see 5.2.5);
- rotation speed pulsation (see 5.2.6);
- power pulsations (see 5.2.7);
- guide vane torque pulsations (see 5.2.8);
- radial thrust pulsations measured at guide bearings (see 5.2.9);
- axial thrust pulsations measured at thrust bearing (see 5.2.10);

and, if need be, also other quantities.

It is in no way intended that all the measurements listed in this guide should be carried out in every case.

SECTION ONE — GENERAL

1. Scope and object

1.1 *Scope*

1.1.1 This guide applies to any type of reaction or impulse turbine, as well to any type of pump-turbine and storage pump, coupled to an electric generator or motor.

1.1.2 The guide covers the field of vibration and pulsation tests referred to as standard tests.

The objectives of the tests are as follows:

- Assessment of hydraulic machine design, manufacture and quality of erection from the viewpoint of vibration**.
- Assessment of the changes of vibration behaviour during the machine life.
- Provision of recommendations applying to operation of unit (for instance, choice of the most appropriate transient sequences).
- Aid in analysing faults and break downs.

1.1.3 If it is not possible to apply the recommendations of the guide because of the construction of the hydraulic machine, or if it is not necessary to conduct some of the measurements, such items may be omitted on prior agreement between the manufacturer and the user.

1.2 *Object*

1.2.1 To establish uniform rules to be applied when carrying out vibration and pulsation tests. To establish methods of measuring and of test data processing.

---

* In this guide, the term "pulsation" is understood to mean any periodic (or quasi-periodic) fluctuation, irrespective of its frequency.

** Recommendations on assessment of the vibrational and pulsatory state of the machine will not be prepared until systematic data have been accumulated in accordance with this guide and have been properly interpreted.

1.2.2 Indiquer des critères permettant une approche homogène quant à la comparaison des vibrations et fluctuations de différentes machines hydrauliques d'une même classe (voir 2.4).

1.2.3 S'assurer la possibilité d'accumuler des données expérimentales suffisamment homogènes sur différentes machines hydrauliques.

1.3 *Restrictions*

1.3.1 Le présent guide exclut tous les sujets d'intérêt purement commercial.

1.3.2 Le présent guide n'a pas pour objet des essais de vibrations et de fluctuations particuliers, réalisés à des fins de recherche, bien qu'il soit recommandé dans ce cas d'appliquer les méthodes décrites ici pour les essais habituels de vibrations et de fluctuations.

1.3.3 Les essais de vibrations et de fluctuations sur modèle en laboratoire, ainsi que les essais réalisés en atelier sur des parties réelles de la machine non assemblée, ne sont pas traités dans ce guide.

Toutefois, si des essais de fluctuations sur modèle sont disponibles, il convient de les prendre en considération.

1.3.4 Les problèmes de vibrations des ouvrages de génie civil et des parties de la machine électrique autres que le(s) palier(s) ou l'arbre ainsi que les fluctuations de pression dans les conduits hydrauliques externes de la machine*, ne sont pas traités dans ce guide.

Toutefois, dans certains cas, lorsque les causes des vibrations excessives d'une machine hydraulique sont incertaines ou peuvent influencer d'autres parties de l'installation, il peut être judicieux de procéder à un examen des ouvrages de génie civil et, le cas échéant, de la machine électrique, de même que des conduits hydrauliques externes à la machine.

1.3.5 Le guide exclut les recommandations relatives à l'identification et à l'élimination des causes de vibrations.

1.3.6 Bien que les mesures et analyses de bruit puissent très souvent, à condition d'être correctement effectuées, constituer un outil de diagnostic utile pour évaluer les perturbations vibratoires d'une machine hydraulique, le présent guide ne tient compte que des vibrations mécaniques à l'exclusion des effets acoustiques (bruit).

1.3.7 Dans un aménagement hydroélectrique, les systèmes de réglage peuvent interagir avec des phénomènes de «fluctuations» de grandeurs hydrauliques, mécaniques et électriques. Cependant, l'étude de ces interactions ainsi que la mise en place d'essais réalisés en injectant artificiellement un signal sinusoïdal dans la boucle de réglage (comme cela est souvent fait pour déterminer la réponse fréquentielle du système) ne font pas partie du domaine d'application de ce guide.

---

* En cas d'absence de vanne(s), les conduites entre les sections de référence haute et basse pression, telles qu'elles sont définies pour les garanties (voir la Publication CEI 000***) sont considérées comme faisant partie de la machine.

1.2.2 To indicate criteria for a unified approach to the comparison of vibrations and pulsations of different hydraulic machines of the same class (see 2.4).

1.2.3 To ensure the possibility of accumulating actual data of sufficient homogeneity on different hydraulic machines.

1.3 *Excluded topics*

1.3.1 The guide excludes all matters of purely commercial interest.

1.3.2 The guide is not concerned with special vibration and pulsation tests for research purposes, although it is recommended that the methods described in the guide be applied to usual vibration and pulsation tests.

1.3.3 Laboratory model vibration and pulsation tests and tests of separate full-sized parts in the workshop are not dealt with in this guide.

However, if pulsation tests on a model are available, they should be taken into consideration.

1.3.4 The problems related to the vibrations of civil engineering works and of parts of the electrical machine other than bearing(s) or the shaft, as well as the pressure pulsations in the waterways external to the machine*, are not dealt with in the guide.

However, in specific cases, when the causes of excessive vibration of a hydraulic machine are uncertain or might be influencing other parts of the plant, it may be appropriate to inspect the civil engineering work structures and/or the electrical machine as well as the waterways external to the machine.

1.3.5 The guide excludes recommendations on identifying and eliminating causes of vibrations.

1.3.6 Although quite often noise measurements and noise analysis, if adequately performed, can be a useful diagnostic tool to assess vibratory troubles of a hydraulic machine, this guide considers only mechanical vibrations to the exclusion of acoustical effects (noise).

1.3.7 Regulation systems may interact with phenomena of "pulsations" of hydraulic, mechanical and electrical quantities in a hydroelectric power plant. However, treatment of such interactions or guidelines for conducting artificial-excitation test by injecting a sine signal in the governor loop (as is often done e.g. to determine the frequency response of the system) are outside the scope of this guide.

---

* In the case of absence of valves and/or gates, the machine is understood to include waterways between high pressure/low pressure reference sections, as specified for guarantees (see IEC Publication 000***).