

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

**Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Acoustic monitoring systems for detection of loose parts: characteristics, design criteria and operational procedures**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Systèmes de surveillance acoustique pour la détection des corps errants: caractéristiques, critères de conception et procédures d'exploitation**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2009 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://www.iec.ch)

### About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

### About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: [www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: [www.iec.ch/webstore/custserv](http://www.iec.ch/webstore/custserv)

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)  
Tel.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

### A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

### A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: [www.iec.ch/searchpub/cur\\_fut-f.htm](http://www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm)

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: [www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: [www.electropedia.org](http://www.electropedia.org)

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: [www.iec.ch/webstore/custserv/custserv\\_entry-f.htm](http://www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm)

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: [csc@iec.ch](mailto:csc@iec.ch)  
Tél.: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE

**Nuclear power plants – Instrumentation important to safety – Acoustic monitoring systems for detection of loose parts: characteristics, design criteria and operational procedures**

**Centrales nucléaires de puissance – Instrumentation importante pour la sûreté – Systèmes de surveillance acoustique pour la détection des corps errants: caractéristiques, critères de conception et procédures d'exploitation**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

 A large, bold, black letter 'W' used as a price code symbol.

ICS 27.120.20

ISBN 2-8318-1057-4

## CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references .....	8
3 Terms and definitions .....	8
4 Purpose and description of loose parts detection.....	10
4.1 General.....	10
4.2 System definition.....	10
4.3 System outline.....	11
5 System requirements.....	11
5.1 Basic structure and design criteria.....	11
5.2 Signal acquisition .....	13
5.2.1 Selection and installation of the sound sensors .....	13
5.2.2 Preamplifiers .....	14
5.3 Signal processing.....	14
5.3.1 General .....	14
5.3.2 Band-pass filters .....	14
5.3.3 External output signal.....	14
5.3.4 Amplifier.....	14
5.4 Signal storage and signal display .....	15
5.4.1 Background noise monitoring.....	15
5.4.2 Digitisation and storage .....	15
5.4.3 Audio unit.....	16
5.4.4 Information display .....	16
5.5 Signal monitoring .....	17
5.5.1 General .....	17
5.5.2 Alarm level monitor.....	17
5.5.3 Logic element.....	18
5.6 Calibration.....	19
5.6.1 General .....	19
5.6.2 Mechanical functional test unit.....	19
5.6.3 Electrical calibration unit .....	19
6 Initial start-up and operation.....	20
6.1 System testing before initial start-up of coolant circulating pump.....	20
6.2 Preliminary surveillance without alarm levels.....	20
6.3 Adapting the system to the plant requirements .....	20
7 Surveillance programme.....	21
7.1 General.....	21
7.2 Reference recordings .....	21
7.3 Measurements during operation .....	22
7.3.1 Preliminary surveillance.....	22
7.3.2 Surveillance.....	22
7.4 Actions following an alarm.....	23
7.5 Periodic testing of the system.....	23
7.5.1 General .....	23
7.5.2 Functional tests .....	23

7.5.3	Electrical system test.....	24
7.5.4	Test impacts .....	24
8	Documentation .....	25
Annex A (informative)	Description of loose parts detection with typical sound traces .....	26
Annex B (informative)	Description of detailed functions of each block of the functional block diagram .....	31
Annex C (informative)	Examples of digital loose parts monitoring systems.....	32
Annex D (informative)	Comments on evaluation.....	34
	Bibliography.....	37
Figure 1	– Functional block diagram of a loose parts monitoring system .....	12
Figure A.1a	– Typical signals of stationary background noise of a PWR.....	27
Figure A.1b	– Typical signals of stationary background noise of a BWR.....	27
Figure A.1	– Typical signals .....	27
Figure A.2	– Signals with bursts caused by an operation-related single sound event (control rod drive) .....	28
Figure A.3	– Signals with bursts caused by an impact of a loose part (pin of upper core support plate) .....	28
Figure A.4a	– Signals with bursts, caused by a test impact at a BWR .....	29
Figure A.4b	– Localisation at a BWR.....	29
Figure A.4	– BWR.....	29
Figure A.5a	– Signals with burst, caused by a test impact at a PWR .....	30
Figure A.5b	– Localisation at a PWR.....	30
Figure A.5	– PWR.....	30
Figure C.1	– Block schematic diagram of a digital loose parts monitoring system.....	32
Figure C.2	– Block schematic diagram of a digital loose parts monitoring system.....	33
Figure D.1	– Auto power spectral density and amplitude distribution of a measurement signal with electrical interference .....	35
Figure D.2	– Burst with corresponding frequency spectrum.....	35
Figure D.3	– Trend and distribution of channel-selective burst-amplitudes .....	36
Figure D.4	– Burst signals with determination of delay differences.....	36

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**NUCLEAR POWER PLANTS –  
INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY –  
ACOUSTIC MONITORING SYSTEMS FOR DETECTION OF  
LOOSE PARTS: CHARACTERISTICS, DESIGN CRITERIA  
AND OPERATIONAL PROCEDURES**

## FOREWORD

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

International Standard IEC 60988 has been prepared by subcommittee 45A: Instrumentation and control of nuclear facilities, of IEC technical committee 45: Nuclear instrumentation.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1990. This edition constitutes a technical revision.

The main technical changes with regard to the previous edition are as follows:

- to bring the contents up to date with technology change in some areas and to reconsider and revise the recommendations;
- to include considerations and recommendations on digitalization for loose parts monitoring systems to cover requirements for such systems;
- to provide an updated introductory subclause describing monitoring technology;
- to discuss and make recommendations on the architecture of a loose part monitoring system;

- to include improved and updated recommendations on storage, information display, alarm level monitor and logic elements;
- to give recommendations on functional and performance measures proven in use for operation of the monitoring system including updated details on the necessary actions after detection of a loose part;
- to include improved recommendations on testing;
- to improve the consistency and clarity and the layout of the contents and to correct any errors found in the previous version;
- to update the comments on evaluation in the informative annexes and to include suitable references;
- to take advantage of experience within SC 45A participating nations.

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

FDIS	Report on voting
45A/754/FDIS	45A/775/RVD

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

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

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

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

## INTRODUCTION

### **a) Technical background, main issues and organisation of this Standard**

This International Standard addresses the issues specific to acoustic monitoring systems for loose parts detection. It describes the principles, the characteristics and the test methods for those systems.

It is intended that this Standard be used by operators of NPPs (utilities), systems evaluators and by licensors.

### **b) Situation of the current Standard in the structure of the IEC SC 45A standard series**

IEC 60988 is the third level SC 45A document related to acoustic monitoring systems for loose parts detection used in power reactors.

For more details on the structure of the IEC SC 45A standard series, see item d) of this introduction.

### **c) Recommendations and limitations regarding the application of this Standard**

It is important to note that this Standard establishes no additional functional requirements for safety systems.

### **d) Description of the structure of the IEC SC 45A standard series and relationships with other IEC documents and other bodies documents (IAEA, ISO)**

The top-level document of the IEC SC 45A standard series is IEC 61513. It provides general requirements for I&C systems and equipment that are used to perform functions important to safety in NPPs. IEC 61513 structures the IEC SC 45A standard series.

IEC 61513 refers directly to other IEC SC 45A standards for general topics related to categorization of functions and classification of systems, qualification, separation of systems, defence against common cause failure, software aspects of computer-based systems, hardware aspects of computer-based systems, and control room design. The standards referenced directly at this second level should be considered together with IEC 61513 as a consistent document set.

At a third level, IEC SC 45A standards not directly referenced by IEC 61513 are standards related to specific equipment, technical methods, or specific activities. Usually these documents, which make reference to second-level documents for general topics, can be used on their own.

A fourth level extending the IEC SC 45A standard series, corresponds to the Technical Reports which are not normative.

IEC 61513 has adopted a presentation format similar to the basic safety publication IEC 61508 with an overall safety life-cycle framework and a system life-cycle framework and provides an interpretation of the general requirements of IEC 61508-1, IEC 61508-2 and IEC 61508-4, for the nuclear application sector. Compliance with IEC 61513 will facilitate consistency with the requirements of IEC 61508 as they have been interpreted for the nuclear industry. In this framework IEC 60880 and IEC 62138 correspond to IEC 61508-3 for the nuclear application sector.

IEC 61513 refers to ISO as well as to IAEA 50-C-QA (now replaced by IAEA GS-R-3) for topics related to quality assurance (QA).

The IEC SC 45A standards series consistently implements and details the principles and basic safety aspects provided in the IAEA code on the safety of NPPs and in the IAEA safety series, in particular the Requirements NS-R-1, establishing safety requirements related to the design of Nuclear Power Plants, and the Safety Guide NS-G-1.3 dealing with instrumentation and control systems important to safety in Nuclear Power Plants. The terminology and definitions used by SC 45A standards are consistent with those used by the IAEA.

# NUCLEAR POWER PLANTS – INSTRUMENTATION IMPORTANT TO SAFETY – ACOUSTIC MONITORING SYSTEMS FOR DETECTION OF LOOSE PARTS: CHARACTERISTICS, DESIGN CRITERIA AND OPERATIONAL PROCEDURES

## 1 Scope

This International Standard is applicable to on-site systems used for continuous monitoring of structure-borne sound measured at the reactor coolant pressure boundary of light water reactors for the purpose of detecting loose parts.

## 2 Normative references

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

IEC 61226, *Nuclear power plants – Instrumentation and control systems important to safety – Classification of instrumentation and control functions*

IEC 61513, *Nuclear power plants – Instrumentation and control for systems important to safety – General requirements for systems*

## 3 Terms and definitions

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

### 3.1

#### **adaptive resonant frequency**

natural frequency of the mechanical attachment (e.g. bolts, magnets), including sound sensors

### 3.2

#### **alarm level monitor**

a device which compares the value of a variable with a fixed or variable threshold. If the threshold is exceeded, the output signal changes its state

### 3.3

#### **background noise**

structure-borne sound which is generated during operation of the reactor plant, even in the absence of loose parts. It is composed of stationary background noise and operation-related single sound events

### 3.4

#### **burst amplitude distribution**

frequency distribution of the maximum observed amplitudes of the bursts in the signal of a sound sensor

**3.5****burst interval distribution**

frequency distribution of the time intervals observed between the individual bursts in the signal of a sound sensor

**3.6****delay difference**

time difference between the occurrences of the bursts generated by a single sound event in the signals of different sound sensors

**3.7****detached part**

part which has become detached from the component in the pressure-retaining boundary of the reactor coolant, and which therefore can be carried along with the reactor coolant

**3.8****known event**

an event for which comparable events occurred repeatedly, were recorded, evaluated and assessed and the criteria for the comparability of these events have been identified and defined (e. g. signal form, delay)

NOTE A known event can be a single burst or a set of bursts. A known event can be classified as an event being alarm-relevant or not being alarm-relevant.

**3.9****loose part**

both a detached or loosened part as well as a foreign part

**3.10****loosened part**

part which becomes loose, yet still remains connected to the component to which it was originally firmly attached

**3.11****monitored signal**

signal from a band-pass filter applied to the sound sensor signal

**3.12****resonance factor**

ratio of the signal amplitude at the natural frequency of response to the amplitude in the flat region of response of the sensor system with any attachments

**3.13****single channel alarm inhibit**

a function that inhibits an alarm if only one channel has been triggered by a single sound event. An alarm is set if at least a second channel has been triggered by the same single sound event

**3.14****single sound event**

structure-borne sound generated by a single event which is superimposed on the stationary background noise (e.g. impact of a loose part, control rod drive noise or a sudden reduction of stresses)

**3.15****sound burst**

signal component generated in the sound sensor as a result of a single event causing a sound which is superimposed on the signal of the stationary background noise

NOTE In this standard the term burst is used as an equivalent.

### 3.16

#### sound sensor

mechanical/electrical energy converters receiving structure-borne sound which is detectable at the surface of a solid body as displacement, velocity or acceleration

### 3.17

#### stationary background noise

consists of stochastic components (e.g. coolant flow noise, fluid resonances) and deterministic components (e.g. speed-dependent pump noise)

### 3.18

#### structure-borne sound

sound which propagates in solid bodies. The structure-borne sound in this standard is taken to mean the sound within the audible frequency range

## 4 Purpose and description of loose parts detection

### 4.1 General

The presence of a loose part in the primary coolant system can be indicative of degraded reactor safety resulting from a failed or weakened component or from a part inadvertently left in the primary system during construction, refuelling, or maintenance. A loose part can contribute to component damage and material wear by frequent impacting with other parts in the system. A loose part can pose a serious threat of partial flow blockage with attendant departure from nucleate boiling which in turn could result in failure of fuel cladding.

Early detection of a loose part can provide the time required to avoid or mitigate safety-related damage to, or malfunction of, primary system components. The primary purpose of a loose parts detection system is the early detection of loose, loosened or detached metallic parts with their potential to cause damage to:

- a) the reactor core,
- b) other internal structures of the primary circuit, or
- c) the primary circuit pressure boundary.

Suitable systems shall be installed for this purpose.

Loose parts detection systems have been used successfully in water reactors for many years, and have detected bolts and tools dropped in construction or refuelling, which otherwise could have caused significant damage. They normally have a low safety significance, but due to the potential for damage that a loose part could cause, regulators will expect installation of suitable systems.

### 4.2 System definition

Depending on the national safety regulation,

- The system focuses mainly on the loose parts detection on the primary coolant system. The system may additionally monitor the vibrational state of the primary circuit. This option (which is outside the scope of this standard) may have consequences on the number and the location of the sensors.
- The expertise to make a diagnosis may be present either:
  - locally in each plant site. This implies that the analysis tools are available on-site and the on-site operators have to be trained for a signal evaluation; or
  - on a remote site at a national level. This implies that the transfer of all of the necessary data to the experts is always fully efficient.

- The triggering of an alarm sent to the control room may be based on signals exceeding a threshold by either:
  - the burst amplitude of a single sound event. This makes it possible to record and analyse the signals event by event, or
  - the rate at which transients are detected. This implies continuously recording the signals. The diagnosis is then made from an analysis including many single sound events.
- The monitoring of the state of the sensors may be done by
  - a calibration test equipment for the measurement lines with impact hammer units on the primary circuit, or by
  - in-depth monitoring and signal processing of the background noise.

When designing a new system a choice from the above-mentioned items should be made as a first step. According to the national regulation the system definition needs to be specified.

### **4.3 System outline**

Loose parts detection systems typically consist of a set of accelerometers mounted on the reactor vessel, steam generators and coolant pump casings, with processing electronics to filter the sound signals from the sensors and monitor them for alarms. Recording facilities are provided, and operators generally listen to the sensor noise at regular intervals, and specifically after refuelling, due to the sensitivity and processing power of the human ear. A fuller description with typical sound traces is provided in Annex A.

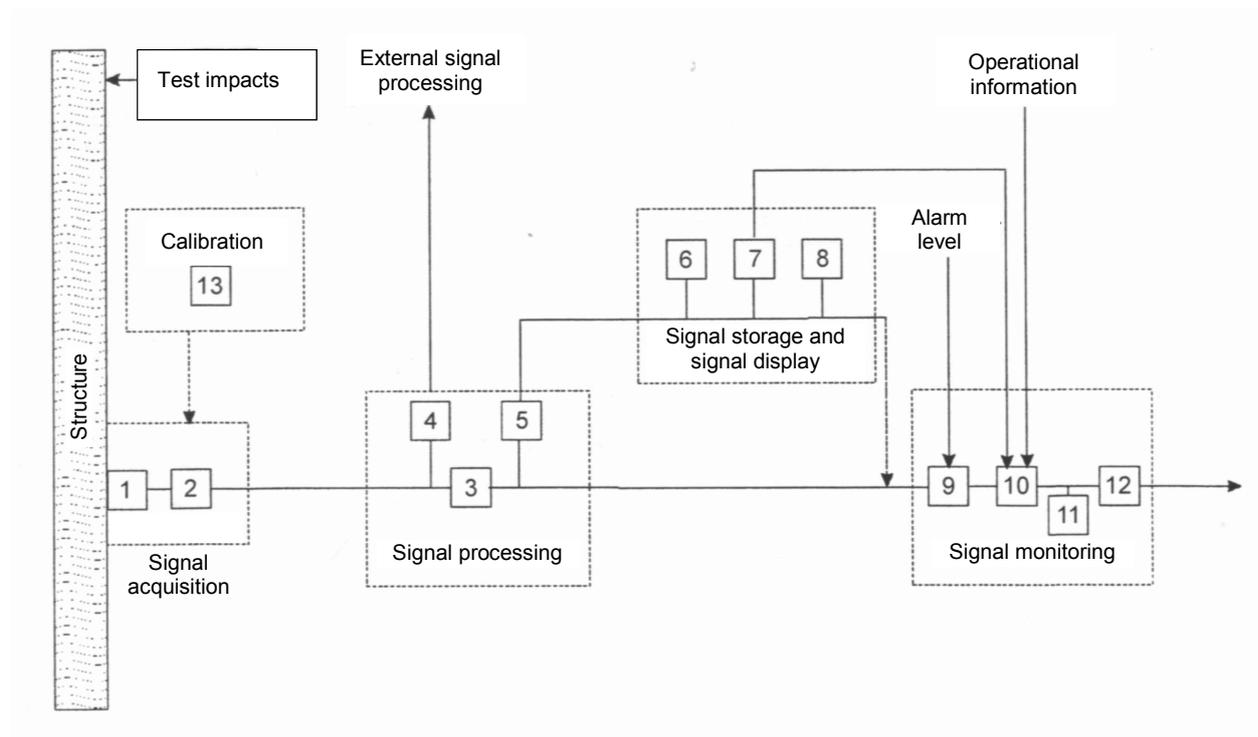
## **5 System requirements**

### **5.1 Basic structure and design criteria**

Generally the system has the following basic functions (see Figure 1).

- signal acquisition,
- signal processing,
- signal storage and signal display,
- signal monitoring,
- calibration.

Requirements for each basic function are described in the following subclauses.



IEC 1511/09

**Key**

- |   |                          |    |                                  |
|---|--------------------------|----|----------------------------------|
| 1 | Sound sensor             | 8  | Audio unit                       |
| 2 | Preamplifier             | 9  | Alarm level monitor              |
| 3 | Band-pass filter         | 10 | Logic element                    |
| 4 | Decoupled signal outputs | 11 | Internal alarm unit              |
| 5 | Amplifier                | 12 | Interface to external alarm unit |
| 6 | Indicator (display)      | 13 | Calibration unit                 |
| 7 | Recording or storage     |    |                                  |

NOTE 1 Control signals are not shown.

NOTE 2 On-line calibration equipment and test impact units need not be permanently installed.

NOTE 3 The monitoring system is an operational system whose function is not classified at a high category according to IEC 61513 and IEC 61226.

**Figure 1 – Functional block diagram of a loose parts monitoring system**

The detailed functions of each block are described in informative Annex B and specific requirements are given in the following subclauses.

The design and installation of the system (including its detection sensitivity) shall be in accordance with national regulations relating to system instrumentation and control for the particular reactor plant.

The system shall be designed using a frequency range consistent with detection algorithms that will ensure sufficient sensitivity of the system to detect a metallic loose part with a minimum of false alarms. Depending upon the particular detection algorithm the frequency range is typically between  $f_a = 0,5$  Hz to 1 kHz and  $f_b = 10$  kHz to 20 kHz, where  $f_a$  and  $f_b$  refer to the lower and upper 3 dB frequencies of the bandwidth of the pass band.

NOTE Processing up to  $f_b = 20$  kHz is very suitable.

The differences in the transfer functions of one measuring chain from any other measuring chain, excluding the sound sensors, should not be greater than 1 dB when selecting identical cut-off frequencies of the band-pass filters.

## 5.2 Signal acquisition

### 5.2.1 Selection and installation of the sound sensors

The recommended sound sensors are piezoelectric transducers. Sound sensors shall be selected to be able to withstand the ambient conditions (e.g. simultaneous exposure to high temperature and radiation levels, splash water) prevailing at their point of installation.

The sound sensors shall be mounted on the outer surface of the pressure-retaining boundary.

All methods of attachment (e.g. screw, magnetic, clamping connections) which meet the requirements described in this standard may be used. All sound sensors should have uniform response characteristics.

The mounting locations shall be selected on the basis of the following:

- the sound sensors shall be positioned in the areas to be monitored. Monitoring areas are, e.g., the reactor pressure vessel bottom head and steam generator inlet water box,
- the sound sensors should be mounted in accessible areas where conditions for sound transmission between the internal structures and the pressure-retaining boundary are particularly favourable (e.g. in the nozzle area of the pressurised water reactor, in the area of the core supports and in the area of the dryer support ring in boiling water reactors),
- the sound sensors should be replaceable,
- the arrangement of the sound sensors shall not restrict accessibility for non-destructive examinations, and the sensor location should be selected so as to minimise dose rates to the equipment and personnel conducting maintenance on the equipment.

The number of sound sensors for each monitoring area is directly related to the function. If detection is required of a detached or loosened part only, then a single sound sensor is sufficient. To distinguish between detached and loosened parts, two sound sensors may be adequate in many cases. When it is necessary to locate detached and loosened parts two dimensionally, at least three sound sensors are required (e.g. reactor pressure vessel surveillance).

In case of defective and inaccessible sound sensors, new sound sensors may be installed in accessible areas as a replacement, taking account of the information content of the signals in comparison to the dose exposure of the personnel conducting maintenance.

**NOTE** It may be preferable to place at least two sensors in each monitoring area which avoids information loss in case of a defective sensor. Further sound sensors may be necessary for the diagnosis of single sound events. The associated signals may be monitored separately.

For installing the sound sensors, the mounting locations shall be prepared in accordance with the nature of the intended connection. The mounting surface for the sound sensors should be matched to the intended type of mounting. In addition, screw and clamping connections shall be protected against loosening, and magnets against slipping. Provision shall be made for the strain relief of the sensor cables.

The installation sites for sensors should be agreed with the design and site installation engineers concerned with the vessels that are monitored and those concerned with their thermal insulation. Removable sections of insulation should be used to allow access to the sensors.

### 5.2.2 Preamplifiers

The signals received from the sound sensors should be converted in preamplifiers (or impedance converters) in such a way that the transmission to the signal processing unit is as free from interference as possible. The design of the preamplifiers should take into account the ambient conditions which prevail at the point of installation. Electrical interference shall be minimized by suitable choice of cable type, routing and length, due consideration being given to installation and maintenance. These cables shall be designed to withstand the ambient conditions. The gain of the preamplifiers shall be adjusted to the sensitivity of each sound sensor in such a way that all channels have nominally identical sensitivities within a tolerance of  $\pm 10\%$ .

NOTE Identical sensitivities of the channels within a tolerance of  $\pm 10\%$  may also be achieved by adjustment of the gain of the processing unit.

The upper cut-off frequency shall be selected in such a way that the adaptive resonant frequency is transmitted.

### 5.3 Signal processing

#### 5.3.1 General

The functions of the signal processing unit should be:

- to improve the ratio of signal strength to stationary background noise by means of band-pass filtering,
- to provide unfiltered signals for external processing,
- to process the signals so that they are suitable for signal storage,
- signal display and signal monitoring.

These requirements may be fulfilled in various ways, provided that the design criteria of 5.1 are fulfilled. The signal processing unit normally consists of the modules included below.

#### 5.3.2 Band-pass filters

The band-pass filters shall have minimum characteristics of:

- filter steepness: 24 dB/octave,
- filter top linearity:  $\pm 1$  dB,
- pass-band:  $f_a \leq f \leq f_b$ .

The amplitude range which can be transmitted shall be matched to that of the preamplifiers.

NOTE The use of additional filters (stationary or temporary) or of a method for spectral subtraction for further reduction of interfering signal components of stationary background noise in the pass-band is admissible.

#### 5.3.3 External output signal

External signal output units should be short circuit proof and isolated by transformer output circuits. Their design shall permit the full amplitude and frequency range of the preamplifiers to be transmitted. The signal output shall be compatible with data processing equipment.

#### 5.3.4 Amplifier

If an amplifier is required for improved signal display or for an audio unit, an amplifier with variable gain is recommended. Gain should be varied in at least four steps of approximately 10 dB each.

## 5.4 Signal storage and signal display

### 5.4.1 Background noise monitoring

A method of monitoring the background noise of the sensor signals shall be provided. This can be done using either the raw signal or the signal envelope, or the RMS (root mean square) value of the signal. The RMS monitor can be used for an objective assessment of the background noise and of the signals used for the functional test. The design of the unit shall be configured such that it is possible to display the RMS values of all signals (e.g. RMS voltmeter with selector switch) or to display a background noise estimate. The RMS values shall meet at least the following requirements:

- frequency range:  $0,7 \times f_a \leq f \leq 1,5 \times f_b$ ,
- peak factor:  $> 5$ ,
- accuracy: better than 10 % full scale,
- integration time:  $1 \text{ s} < t_i < 5 \text{ s}$ .

Software calculation of background noise can improve on these characteristics.

### 5.4.2 Digitisation and storage

For evaluation and archiving of the structure-borne sound signals, the loose parts monitoring system shall be provided with a unit for digital storage of the signals.

The system should include a facility to store all channel signals. It shall enable synchronous processing of sufficient channels, such that all monitoring areas can be synchronously registered with all channels necessary for localisation.

The storage of each signal value shall meet the following:

- sampling rate per channel:  $\geq 48 \text{ kHz}$ ,
- resolution:  $\geq 11 \text{ bit}$ .

The design shall have the facility for automatic signal recording on exceeding an alarm level. Transient recording or continuous recording may be used.

For transient recording the signals are stored, burst by burst. An alarm may be generated by exceeding a threshold using the burst amplitude of a single sound event.

For continuous signal recording, the background noise and the low level bursts between the detected bursts are included. An alarm may be generated from the rate at which single sound event transients are detected.

For transient signal recording the minimum requirements of signal storage are:

- recording time window:  $\geq 40 \text{ ms}$ ,
- pre-trigger time: 0 % to 100 % of the recording time window, adjustable
- dead time:  $\leq 200 \text{ ms}$ ,
- storage capacity: as a minimum, 300 subsequently occurring events based on a recording time window of  $\leq 100 \text{ ms}$ .

For continuous signal recording the recording time shall be between 10 min and 20 min for at least 4 channels. If the recorder cannot record all the channels simultaneously, there shall be a multiplex so that the signals from the monitoring area are redirected to the recorder.

The single sound events stored during surveillance (see 7.3.2) should be archived electronically for a time period of two years as a minimum.

### 5.4.3 Audio unit

Human listening to the signals of the acoustic sensors is a proven method of subjective online evaluation of the signals.

The audio unit shall be designed so as to enable audible monitoring of each measuring channel.

The audio unit shall provide at least:

- frequency range:  $f_a \leq f \leq f_b$ ,
- headset output (two-channel design is acceptable),
- volume: variable.

An additional loudspeaker may be provided.

### 5.4.4 Information display

The display and storage of the main data of an event should include as a minimum,

- a) event-related information
  - 1) event ID for clear identification,
  - 2) system code,
  - 3) date and time of the event,
  - 4) main settings of digital storage.
- b) channel-related information
  - 1) RMS value of the background noise (this may include burst components),
  - 2) alarm levels at the time of event occurrence,
  - 3) measuring channel which has triggered,
  - 4) further measuring channels whose alarm levels were exceeded.

The analysis of detected events can be made on site or away from the site by experts.

If the analysis of detected events is made off-site by experts the above-mentioned main data should be provided from site. (Methods for the off-site analysis are outside the scope of this standard.) In this case the on site display information may be restricted to:

- which monitoring area has triggered the alarm (e.g. bottom steam generator, lower vessel),
- amplitudes and occurrence rate of the bursts and
- how many channels are affected.

If the analysis is made on site the display of information should provide:

- tabular display of system settings and of the data of the recorded events,
- graphical display of structure-borne sound signals designed to assist evaluation by operators.

For these display types, the use of high-resolution colour monitors is recommended. For printouts, at least a black and white graphics printer shall be used.

The tabular display of system settings should be documented at the time of the occurrence of the event such that a clear evaluation and traceability of the events will be possible at any time.

The graphical display of the structure-borne sound signals is used to visualise the time signals of an event. This type of display provides an evaluation of the structure-borne sound signals with regard to:

- identification of signatures indicating loosened, detached or foreign parts,
- localisation of the source of such signals,
- estimate of the mass of the loose part.

It should be possible to present the time signals of the individual recording channels separated for each channel with the same time axis and in graphical form. For the evaluation of the events, the graphical display of the structure-borne sound signals should at least provide the following functions: selection of the reference channel, time-stamping of burst arrivals of the residual channels and calculation of the delay differences compared to the reference channel, auto power density spectrum with, where appropriate, selectable period of time of the overall signal, calculation of the RMS value, localisation in cylindrical and spherical regions of components. The localisation may be performed linearly with the hyperbola intersection method or the Newton method, computer-based or manually (see Figures A.4b) and A.5b) of Annex A).

It is recommended that subsequent acoustic replay of recorded bursts is possible. A method should be applied which allows completion of the recorded bursts with stationary background noise and replaying it via suitable hardware.

## 5.5 Signal monitoring

### 5.5.1 General

Signal monitoring shall:

- Detect transients associated with, or due to electrical interference.
- Discriminate and eliminate those transients due to electrical interference or associated with operation related sound events (e.g. control rod movement, valve actuation).
- Trigger an alarm for each separate channel, until it is acknowledged.
- Initiate automatic recording or storing of the signals of the event.

### 5.5.2 Alarm level monitor

The alarm triggering is achieved by a unit which supplies a logic output signal when the monitored signal exceeds the alarm threshold.

The monitored signal is, for instance,

- the output signal of the band pass filter, or
- a suitably formed parameter of this signal (e.g. the short-term averaged RMS value with an integration time of a few milliseconds), or
- another signal (different from the short-term averaged RMS value), which is suitable for detecting bursts. In this case the relationship between this parameter and the RMS or peak value shall be known in order to fulfil the conditions specified in 6.3.

Each channel shall be provided with its own alarm level monitor. It shall be possible to vary the alarm level and read off its setting (see 6.3). The alarm level monitor shall be able to distinguish spurious amplitude rises (e.g. such as caused by electrical pick-up) from bursts.

NOTE A signal suitable for monitoring is the RMS of the signal value integrated over about 5 ms.

For analogue monitoring

$$X(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t [x(u)]^2 \cdot du}$$

where

- $\tau$  is the time constant;
- $t$  is the time;
- $x$  is the band-pass filtered signal of the sound sensor;
- $u$  is the integration variable;
- $X$  is the RMS value.

For digital monitoring

$$X(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=0}^n \{ [x(i \cdot \Delta t)]^2 \cdot \Delta t \}}$$

where

- $\tau$  is the time constant;
- $t = i \cdot \Delta t$ , time;
- $\Delta t$  is the sampling interval;
- $n = \frac{\tau}{\Delta t} - 1$ ;
- $i$  is the digital variable;
- $X$  is the RMS value.

### 5.5.3 Logic element

A facility to suppress false alarms arising from known events shall be provided. The function of the logic element is to suppress the generation of false alarms due to known sound sources, or physically non-reasonable combinations (or shapes) of burst signals in different channels. Inputs to the alarm processing equipment should be provided from the relevant equipment (e.g. control rod controllers, valve operation switchgear). In any case, its design shall be such that if an alarm level is exceeded at the same time as single operation-related sound events, no alarm will result.

In the case of transient signal recording the logic element links the outputs of the alarm level monitors to binary signals and to internal evaluation results in such a way that:

- operation-related deterministic single sound events (e.g. control rod drive, valve actuation) and single-sound events (e.g. boiling process) related to a specific plant type do not lead to an alarm or storage,
- and known not alarm-relevant events (e.g. swing check valve) do not lead to an alarm.

The logic element can be realised by: logical linkage of the alarm level monitor output to binary signals (e.g. control rod movement), logical linkage of the trigger output to internal evaluation results, and single channel alarm inhibit (see 3.13).

In the case of continuous signal recording a coincidence is detected if bursts occur on at least 2 channels from the same monitoring area within less than – typically – 5 ms. Logic should be

provided to inhibit multiple alarms that could arise from coincident alarms within more than 5 ms on several channels due to one initiating event. If in a time window the measured number of coincidences exceeds a fixed number an alarm is triggered. A typical fixed number may be 6 coincidences in 30 s.

The logic output signal of the alarm level monitor passing through the logic element shall excite the internal alarm unit and via an interface the external alarm unit and shall initiate recording or storing.

## **5.6 Calibration**

### **5.6.1 General**

If on-line calibration equipment is installed the equipment shall be able to:

- verify that the signal processing channel is correctly set,
- verify that the sound sensor is sensitive to impacts and is well connected to the structure as well as to the remainder of the channel,
- estimate the overall response of the channel to known simulated impacts.

The calibration device should be at least one of

- an electrical calibration unit for testing the signal processing channel from the preamplifier unit,
- an electrical calibration unit for testing the signal processing channel from the signal processing unit,
- a test impact unit for testing the overall system from simulated and reproducible impacts.

During operation of the plant, monitoring of the sensor and measurement chain may be performed by monitoring of the RMS value of the measured signal with high and low thresholds.

### **5.6.2 Mechanical functional test unit**

Maintenance and calibration of the sensor may be done by generating impact series, using a test impact unit or a manual hammer to trigger the alarms of the loose parts monitoring system (see 7.5.4).

### **5.6.3 Electrical calibration unit**

The electrical calibration unit shall be designed such that the signal channels can be calibrated at any time. For this purpose, a fixed unit is recommended. The calibration unit may be a sine-wave generator. The electrical calibration unit shall fulfil the following requirements:

- The frequency of the calibration signal shall be adjustable to the pass band of the band pass filter.
- The amplitude of the calibration signal shall be adjustable. Full scale shall be possible.
- Measurement tolerance of the calibration signal shall be  $\pm 5\%$  with  $U_{cal} > 0,5 V_{peak}$ .
- It shall be possible to check the alarm level settings.
- If calibration is performed during plant operation, the monitoring function of the remaining channels shall continue in operation during calibration of the selected channel.

## 6 Initial start-up and operation

### 6.1 System testing before initial start-up of coolant circulating pump

The mounted acoustic sensors and all junction cables shall be visually checked as far as possible. The function of all system channels shall be checked. The amplification shall be adjusted to the sensitivity of each sound sensor in such a way that all channels have nominally identical sensitivities.

If the functions calibration and test impact are used, and the primary coolant system has been filled, mechanical pulses (test impacts of known energy) should be applied to the pressure-retaining boundary. This enables sound propagation conditions, adaptation of the sound sensors and functionality of the sensors together with the preamplifiers to be checked. The energy of the pulses shall be such that for the peak value of the burst of the sound sensor positioned next to the place of the impact, at least 50 % of the selected volume range is reached.

The signals of those sound sensors which show bursts during a test impact shall be recorded synchronously.

The following shall be documented:

- results of visual inspection of the installation,
- results of the electrical functions test,
- preamplifier settings,
- mode of generation of the mechanical pulses,
- energy of the mechanical pulses,
- position of the sound sensors,
- location of the points of impacts,
- signals of the sound sensors.

For the functional tests to be performed later during operation, additional test impacts shall be initiated at further points accessible during reactor plant outages (see 7.5.4).

### 6.2 Preliminary surveillance without alarm levels

Surveillance of the primary coolant system for loose parts shall be ensured from the initial start-up of the coolant circulating pumps onwards. At this time no information about the background noise of the specific plant is available and settings of the alarm levels are not necessarily known. Surveillance is performed by the operating staff specifically listening to the individual signals by means of the audio unit.

The background noises shall be recorded from selected operating states of the reactor plant e. g. different pressures, in order to permit a comparison with empirical values of other reactor plants. These operating states and the background noise recorded shall be documented in a suitable form.

### 6.3 Adapting the system to the plant requirements

When the operating state at which the reactor plant is monitored has been reached, the system shall be adapted to the plant requirements: the setting of the alarm level monitors and, if required, of band-rejection filters (see note in 5.3.2) are performed.

Transient recording or continuous signal recording may be adopted.

a) In the case of transient signal recording:

A pre-trigger time of 15 % to 35 % of the recording time window is recommended.

If the monitored signal exceeds five times a value deduced from the background noise, the alarm level monitor shall generate an alarm message (see 5.5.2). More sensitive settings are admissible. The setting of the alarm levels for the individual signal channels may vary. If the background noise changes during operations, it should be possible to change the alarm level settings (see 7.5 and 8). The monitored signal (e. g. RMS value  $\tau = 5$  ms) and the value deduced from the background noise (e.g. RMS value  $\tau = 1$  s) shall be determined by the same method.

NOTE Limiting dynamic values with follow-up or automatically adjusted gain is recommended. In this case the amplification factor and time behaviour of the signal monitoring shall be chosen so that the above criterion is fulfilled at least.

In the case of digital alarm level monitors, a minimum value may be chosen for the automatically set alarm values to suppress spurious alarms. For this minimum value, a range between 0,5 % and 5 % of the full scale is recommended. In the case of analogue alarm level monitors, the RMS value of the stationary background noise should be 5 % to 15 % of volume.

In addition to the setting of the gain, this value may also be influenced, to a limited degree, by the setting of the band-pass filters. This ensures that the alarm level can be set sufficiently low (e.g. five times the RMS value of the stationary background noise), i.e. that an adequate dynamic range is available for the recording of bursts.

The following shall be documented:

- setting of band-rejection filters,
- pre-trigger time setting,
- setting of the alarm level monitors including the set amplifications, and
- background noise after setting of the band-rejection filters.

b) In the case of continuous signal recording a reference set of recordings of background noise should be kept. Some records of single sound events and stationary background noise should be available at the plant for audible replay.

## 7 Surveillance programme

### 7.1 General

The surveillance programme distinguishes between two phases:

- preliminary surveillance (transient phase), and
- surveillance (steady state phase).

The preconditions for starting surveillance are:

- a) the start-up of the loose parts monitoring system was completed,
- b) the electrical system test was completed during plant outage (see 7.5.3).

### 7.2 Reference recordings

Several reference recordings are required to assess the actual sound signals and to interpret any changes. There are two types of recordings: Reference recording during plant shutdown (for test impacts, see 7.5.4), and reference recording during steady state plant operation (operating noise).

The reference recordings during steady state operation of the reactor plant are the basis for the interpretation of observed changes in the sound signals.

In the case of transient signal recording reference recordings should be made for:

- operation-related sound events,
- test impacts,
- background noise,
- changes of known and documented system properties.

The following shall be performed for reference recordings during steady state operation of the reactor plant: documentation of the RMS value of the signals of all active channels, recording of the signals of all channels with a dynamic range of at least 50 dB and a maximum permitted amplitude error deviation of  $\pm 5\%$ , and registration of one recording each using the dedicated unit for digital storage.

In the case of continuous signal recording reference signals should be available for a diagnosis by experts, on-site or off-site. The recordings can be made at any time a sound event appears. It is useful to determine the frequency spectra and amplitude distributions of the signal recording and to perform a burst evaluation (see Annex D).

After prolonged outage periods (e.g. for refuelling), reference recordings shall be performed following the restart of the reactor plant.

NOTE In the case of boiling water reactors it is helpful to record several reference conditions at one time due to the power dependency of the background noise (pump speed).

### **7.3 Measurements during operation**

#### **7.3.1 Preliminary surveillance**

Preliminary surveillance is considered in this standard as the time from start of the main coolant pump until reaching steady state power operation.

The start of the main coolant pumps shall be monitored by listening.

The operating staff shall listen to all monitored channels at regular intervals determined for the particular plant (e.g. once per shift up to 3 times a week). If significant changes in the noise pattern are detected, the subjective findings shall be recorded and a recording shall be made, evaluated and assessed for the signals of all channels.

The preliminary surveillance after the end of the heating phase should be performed with preliminary alarm levels. It is permissible to use the alarm level settings from power operation of the last cycle. If this setting leads to too many alarm messages, the alarm levels may be adjusted after clarification of the cause (e.g. change of the background noises). This shall also apply to the duration of operational measures if an increased number of alarms would be expected.

If possible, these operations can be done in automatic mode.

#### **7.3.2 Surveillance**

Surveillance is performed from reaching steady state power operation until the end of power operation.

During surveillance, any exceeding of alarm levels shall be indicated automatically. For this purpose, setting of the alarm levels is to be performed according to 6.3. Surveillance shall be supplemented by regular listening to the individual signals.

The operating staff shall listen to the signals of all monitored channels at regular intervals determined for the particular plant (e.g. once per shift up to 3 times a week). The results shall

be archived. In the case of transient signal recording records of the signals shall be made at regular intervals (e.g. once every three months).

The assessment is performed by objective and subjective comparison of the actual signals of the sound sensors or their parameters with the signals or their parameters which have been stored as reference data. If significant changes in the noise pattern are detected, the subjective findings shall be recorded and a recording shall be made, evaluated and assessed for the signals of all channels. A decision is required on whether a reference recording should be performed.

#### **7.4 Actions following an alarm**

For an immediate assessment, the following information shall be available as a minimum:

- alarm identification sent to the control room,
- the number of the channels where an alarm value was exceeded,
- time and frequency of the alarm values being exceeded, and
- system status as on-line or failed or off-line.

After an alarm, the following shall be performed:

- listen to the signals of all channels,
- determine whether and where new alarms have been actuated,
- log the channels for which the internal alarm unit has been triggered,
- acknowledge the alarm,
- record selected time-correlated operating parameters and the associated reactor operating mode (e. g. operation of a major control valve),
- record the signal of all channels if an alarm is present again or significant changes in the noise pattern occur during listening. The subjective findings shall be archived,
- evaluate the recordings (see Annex D) and assess the results. Here, a parameter query for further operational parameters may be helpful.

NOTE In the case of preliminary surveillance, check of alarm level according to 7.3.1. An automatic recording and storage of selected operating parameters together with event data is recommended.

These actions shall be organised so that the assessment of whether an alarm was caused by a loose part can be performed in due time before damage could result.

Further actions should be performed depending on the assessment and in accordance with the particular plant.

#### **7.5 Periodic testing of the system**

##### **7.5.1 General**

Tests shall be performed at regular intervals. There are three types: functional tests, electrical system tests, test impacts.

##### **7.5.2 Functional tests**

The functional tests take the form of a qualitative check to demonstrate the operability of the surveillance system by recording and evaluation of the background noises. Monitoring of sensor and measurement chain may be performed by monitoring with low and high thresholds of the RMS value of the measured signal.

### 7.5.3 Electrical system test

There are separate electrical system tests for each of the two states: reactor plant outage, reactor plant operation.

During outage of the reactor plant, a test of the electrical part of the system shall be performed to prove that the system still has the specified functionally related characteristics from the input onwards. The measuring chain should be checked from the sound sensor to the preamplifier input.

During operation of the reactor plant, if the function calibration is used, a test of the electrical part of the system shall be performed to check the system from the preamplifier input onwards. A channel calibration takes place which shall be performed at regular intervals of three months with the electrical calibration unit described in 5.6.3 as follows:

- for each channel, a test signal shall be defined. A nominal value shall be specified for each channel in accordance with the amplification set for monitoring, and compared with the actual value of the indicator and recording. The deviations from the nominal value shall not exceed  $\pm 10\%$ ,
- for each channel, a calibration signal (stationary value for fixed alarm level and step for sliding alarm level) shall be defined so that all alarm level monitors are activated separately. The amplitude of the calibration shall be chosen so that the monitored signal (see 5.5.2) does not exceed the alarm levels by more than 20%. The amplitudes of the calibration signal and the settings of the alarm level monitors shall be recorded.

If the deviations cannot be eliminated, the function of the channel shall be evaluated and documented accordingly.

If monitoring with low and high thresholds of the RMS value of the measured signal is performed, these functional tests may be used to prove system functionality instead of the above described electrical system tests during plant operation.

### 7.5.4 Test impacts

a) If the functions calibration and test impacts are used (see 5.6.1, 5.6.2), the operability of the overall system, including the sound sensors and signal lines to the preamplifiers, is demonstrated integrally with test impacts. Moreover, they provide a comparison standard for evaluating single sound events which occur during operation (see 7.2). The test impacts shall be performed prior to the initial start-up of the coolant circulating pumps (see 6.2) and prior to restart of the reactor plant following refuelling. The time should be chosen so that the reactor pressure vessel head is pressure-tight closed and the reactor cooling circuit is filled. For pressurised water reactors, the test impacts shall be performed prior to start-up of the main coolant pumps following refuelling.

The test impacts shall be applied to defined impact points. The impact points and the energy of the test impacts at adjusted setting of the alarm level monitors of the loose parts monitoring system shall be selected such that at least one alarm level monitor is activated per monitoring area. The sound signals shall be stored synchronously while the test impacts are applied.

For the impacts, the following shall be documented: the mode of generation of the mechanical impacts, data on the estimation of the impact energy (e.g. adjustable tension, mass, form of the impactor), the location of the points of impact, the signals of the sound sensors (recording with sufficient time and amplitude resolution for determining burst forms and delay difference).

The test impact data, in particular the data on the estimation of the impact energy and impact locations, shall be kept thereafter, as far as possible.

b) If the monitoring of the sensors is performed using low and high thresholds of the RMS value of the measured signal (see 5.6.1, 7.5.2), periodic maintenance and calibration of the

sensor should be done during outages. To test the alarm function, a manual hammer may be used to generate an impact series.

## 8 Documentation

Test reports shall be produced to record all testing done, in accordance with Clause 7. In the test reports, IEC 60988 shall be referred to as the test basis.

The most important data which shall be documented are as follows:

- system description of the loose parts monitoring system (including instructions manual),
- information on the physical arrangement and technical data of the system (e.g. sound sensors, preamplifiers, cable routings, signal processing units, calibration unit, digitisation, up-to-date software versions, signal storage),
- updated system setting data (amplifiers, band-pass filters, alarm level monitors),
- information on the mounting of the sound sensors, information on hardware and software modifications performed,
- recordings, reports and data during initial start-up (see Clause 6),
- recordings, reports and data during surveillance (see Clause 7).

## **Annex A** (informative)

### **Description of loose parts detection with typical sound traces**

Whenever detached or loosened parts impact on the inner surface of the pressure-retaining boundary of the reactor coolant or its internal structures, there is an energy transfer to the walls. Any metal part or mechanical component moving with the water flow can damage the inner surface of the circuit. Single sound events are generated as a result, which propagate as structure-borne sound along the solid structure of the pressure-retaining boundary of the reactor. The measurement of the structure-borne sound is focused on the detection of a loose part.

The structure-borne sound is received by sound sensors mounted on the outside of the pressure-retaining boundary of the reactor coolant. In this standard, it is assumed that accelerometers are used as sound sensors. The sound sensor converts the structure-borne sound event to a burst as the corresponding electrical signal component.

Additionally, background noise is generated by the coolant flow and the pumps as well as by other components mounted in or on the pressure-retaining boundary and which are activated during operation (e.g. valves and control rod drives). It is composed of stationary background noise (see Figure A.1a) and operation-related single sound events (see Figure A.2) of a pressurized water reactor. Figure A.1b shows signals of stationary background noise (with fluid resonances) of a boiling water reactor. The main objectives of the system are to detect the loose parts and to indicate the location area of a loose part, to be able to remove it after shutdown.

Figure A.3 shows signals with bursts resulting from the impact of a detached part. The signal amplitudes in Figure A.3 are scaled differently for better viewing. The signal pattern of a test impact and the associated localisation results are presented in Figure A.4 for a boiling water reactor and in Figure A.5 for a pressurised water reactor.

The detection is based on the acquisition of bursts generated by the impact on the wall. The detection system has to filter the bursts generated by the loose part from the noise generated by the normal operation of the circuit (large noise of pumps and water flow). For loose parts detection, operating staff listen to the signals of the sound sensors at regular intervals.

Reference recordings are used to set alarm levels for the monitored signal. As a rule, an alarm is actuated when the alarm threshold is exceeded. The cause of a single sound event can be narrowed down by comparison with reference recordings. The criterion used to distinguish between detached and loosened parts is the delay differences of bursts of a single sound event. The evaluation of several subsequent sound events shows constant delay differences for loosened parts, whereas in the case of detached parts delay differences may vary. The analysis of signal trends is not sufficient to determine the causes of bursts in general. In these cases, additional operational information has to be referred to.

The expertise for diagnosis can be on-site or off-site in an expert laboratory, depending on the national regulation. If the expertise for the diagnosis has to be on site and if alarm triggering is based upon excessive burst amplitude and burst capture by transient signal recording, the system can locate the impacts at the pressure retaining boundary and to assess the mass of the loose part on-site. The design of the system may be different if alarm triggering is based on continuous signal recording and crossing a threshold of burst rate. The system may then provide on-site data storage for an off-site diagnosis.

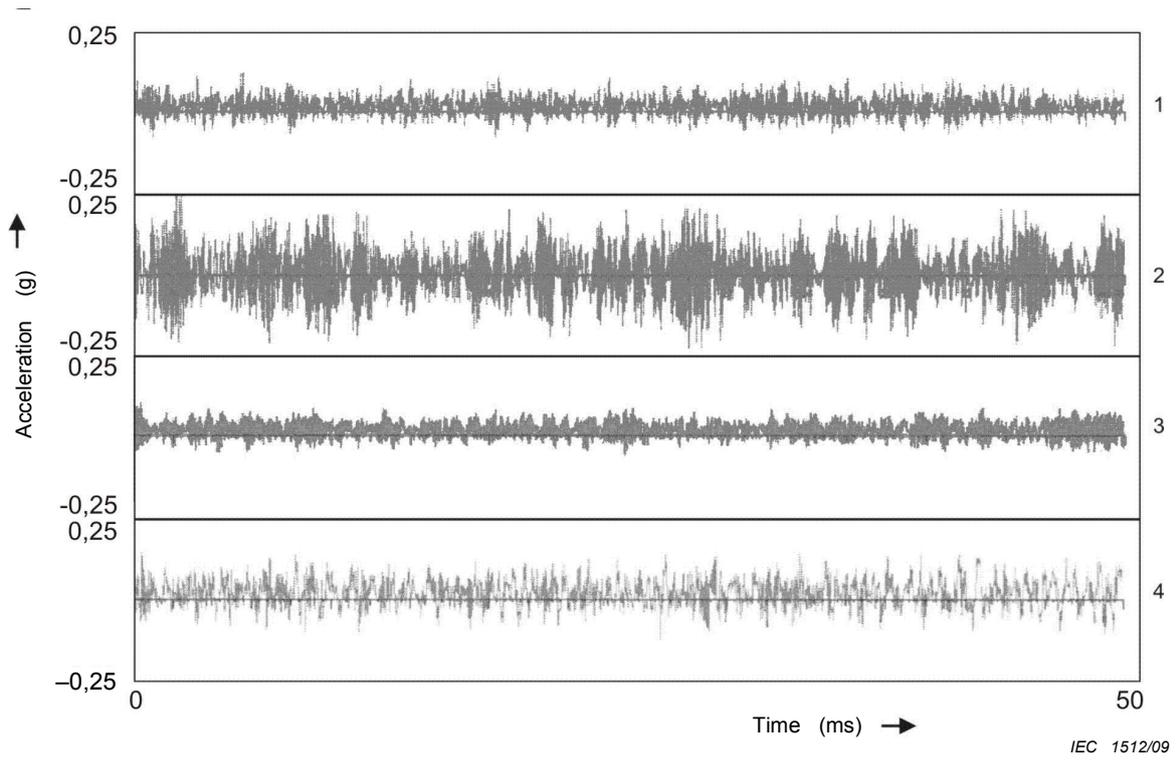


Figure A.1a – Typical signals of stationary background noise of a PWR

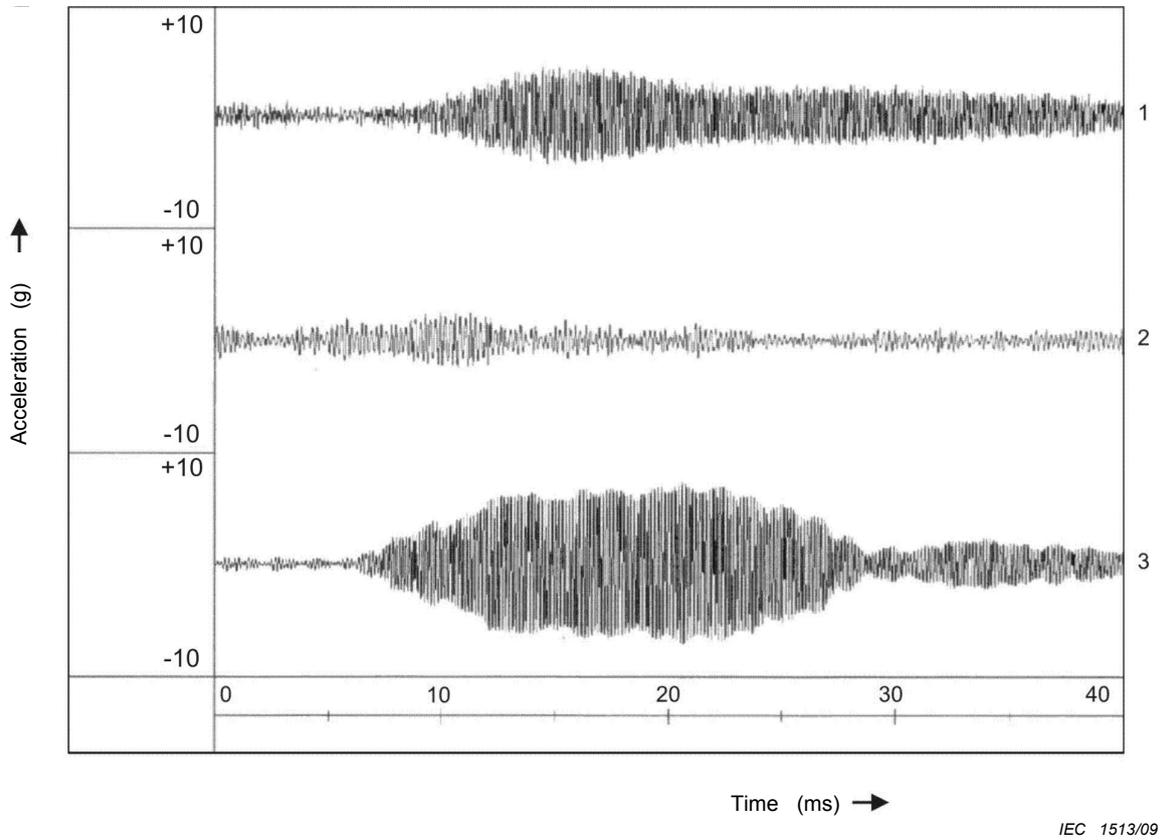


Figure A.1b – Typical signals of stationary background noise of a BWR

Figure A.1 – Typical signals

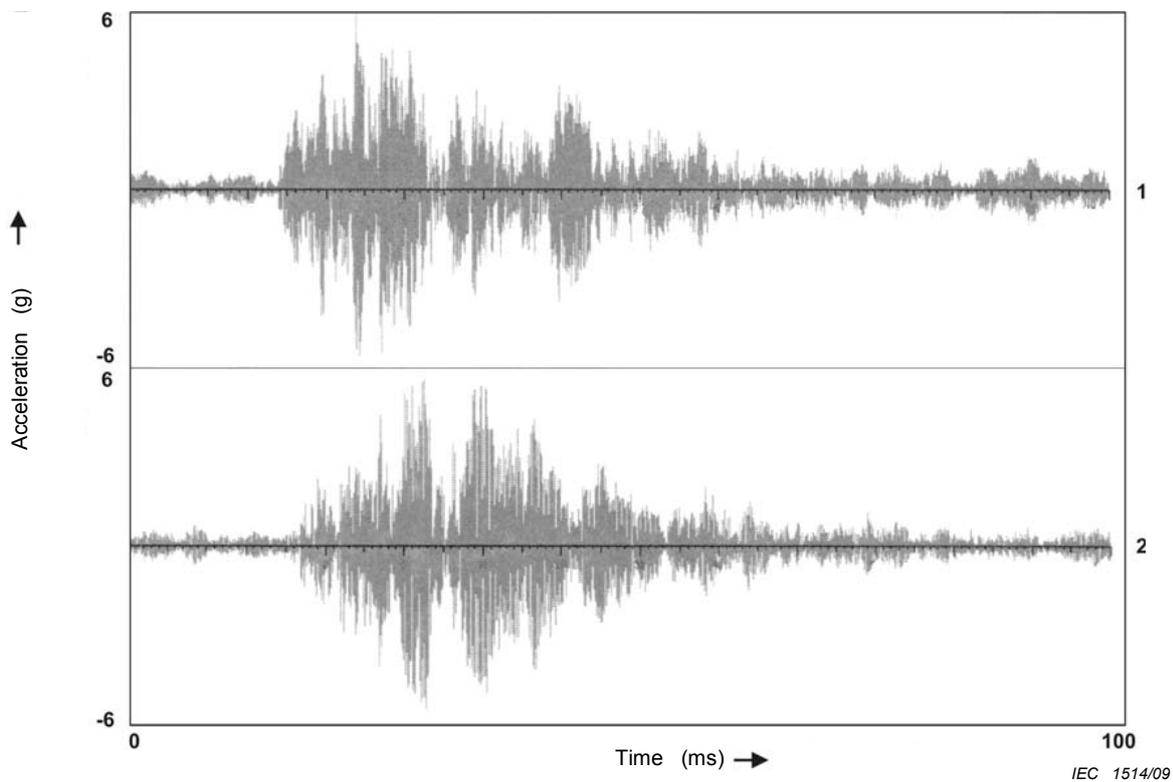


Figure A.2 – Signals with bursts caused by an operation-related single sound event (control rod drive)

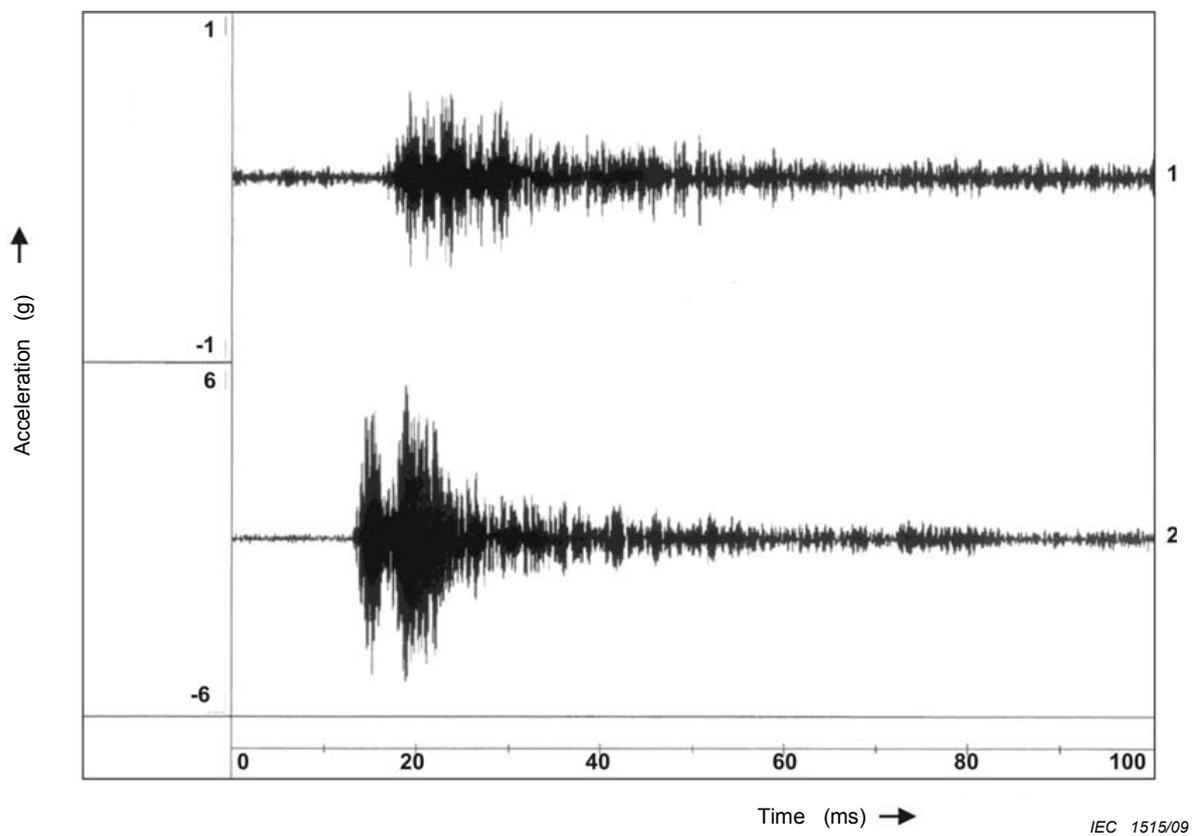


Figure A.3 – Signals with bursts caused by an impact of a loose part (pin of upper core support plate)

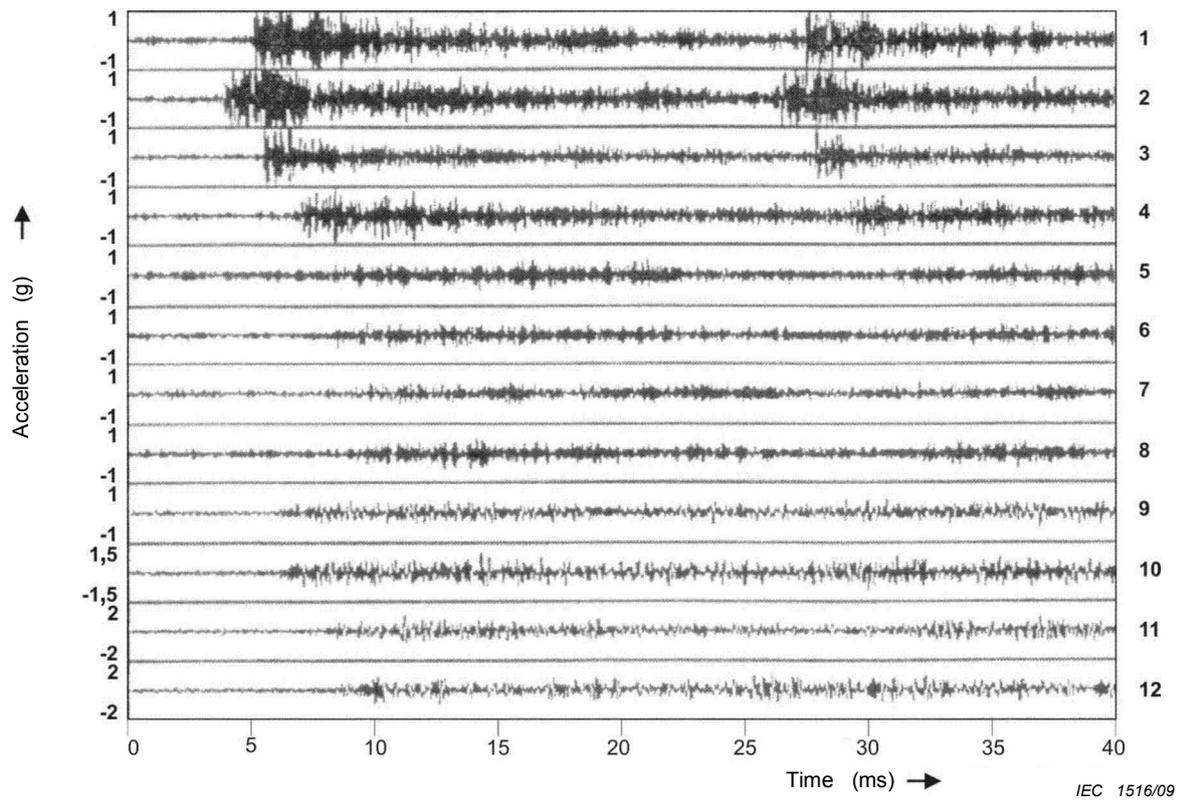


Figure A.4a – Signals with bursts, caused by a test impact at a BWR

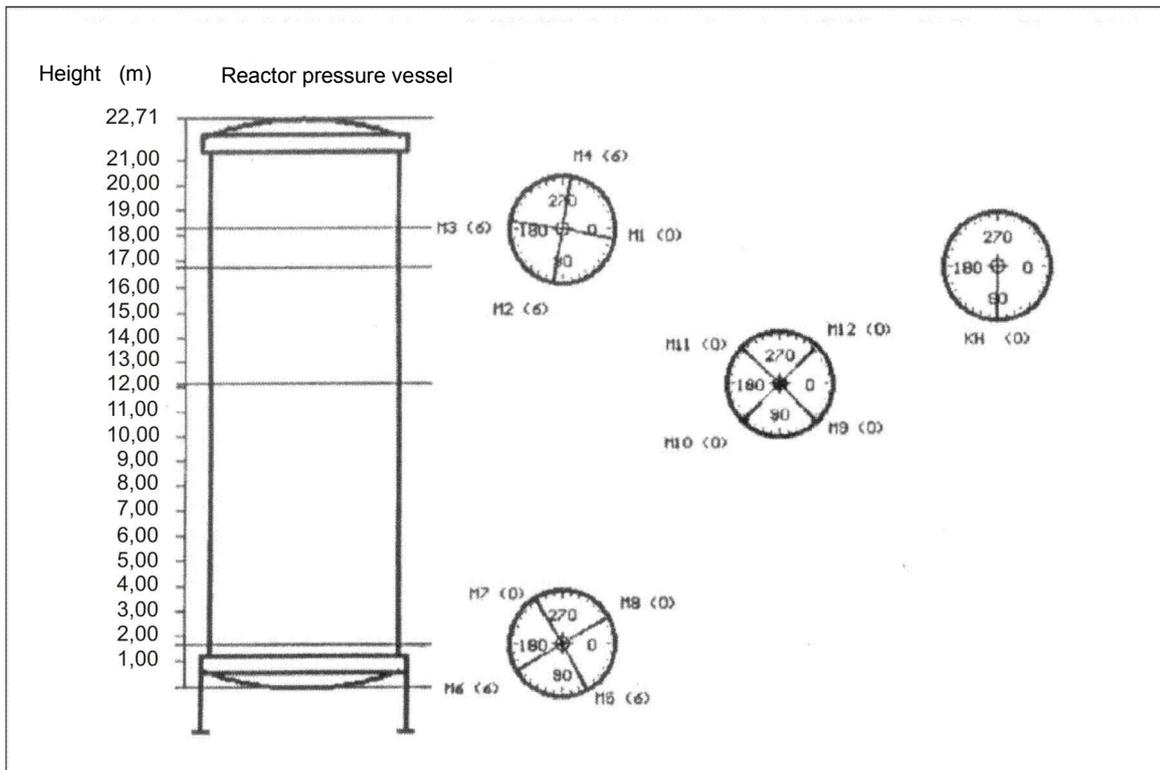


Figure A.4b – Localisation at a BWR

Figure A.4 – BWR

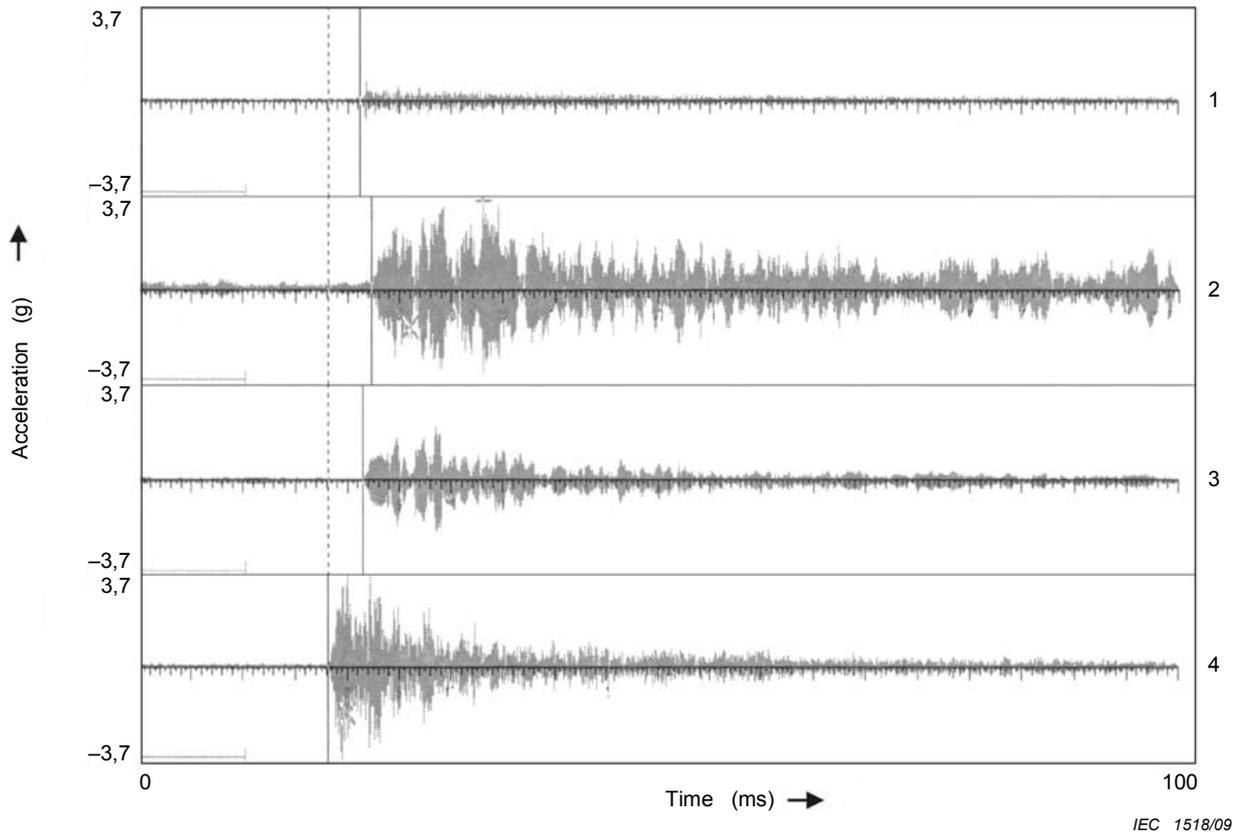


Figure A.5a – Signals with burst, caused by a test impact at a PWR

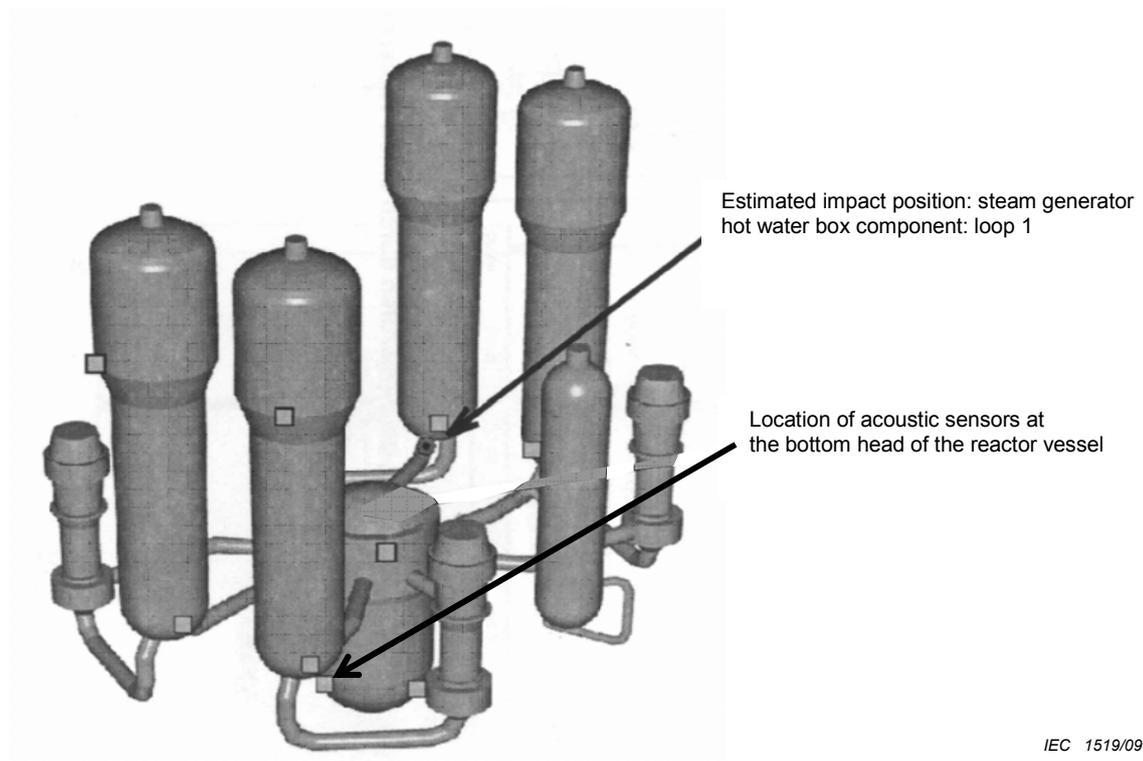


Figure A.5b – Localisation at a PWR

Figure A.5 – PWR

## **Annex B** (informative)

### **Description of detailed functions of each block of the functional block diagram**

Figure 1 (in the main text) shows a typical system. The signals of the sound sensors (1) pass through wideband preamplifiers (2) to outputs (4) for further processing; these outputs are reserved for connecting external devices. For further internal processing of the signals, interference signal components (e.g. pump noise, electrical pick-up) are reduced with the aid of a band-pass filter (3) and the signals are amplified (5). Signal monitoring is implemented by an alarm level monitor (9), a logic element (10), an internal alarm unit (11) and an interface to the external alarm unit (12). The signals are displayed by means of an indicator (6), a multi-channel recorder or memory (7) and an audio unit (8). The signal channels can be tested and calibrated with the aid of a calibration unit (13). The loose part monitoring system can be tested by a test impact. The module (13) is not necessarily permanently installed. The components in the system are arranged, insofar as technically possible and feasible, in accessible locations.

The system design is influenced by the sensitivity of the sensors, the gain of the amplifier and the details of sensor mounting. The performance of the mounting is difficult to predict. Typically, the sensor and amplifier design are such that an acceleration of 30 g of the structure at the sensor position coincides within the operational range with the maximum linear amplifier output at minimum gain setting. The effect of the mounting can be neglected provided that resonances would not generate a multiplication that would affect the operational range unacceptably (e.g. by a factor greater than 15).

For higher resonance multiplication factors, the sensitivity of the measuring chain requires to be adjusted accordingly.

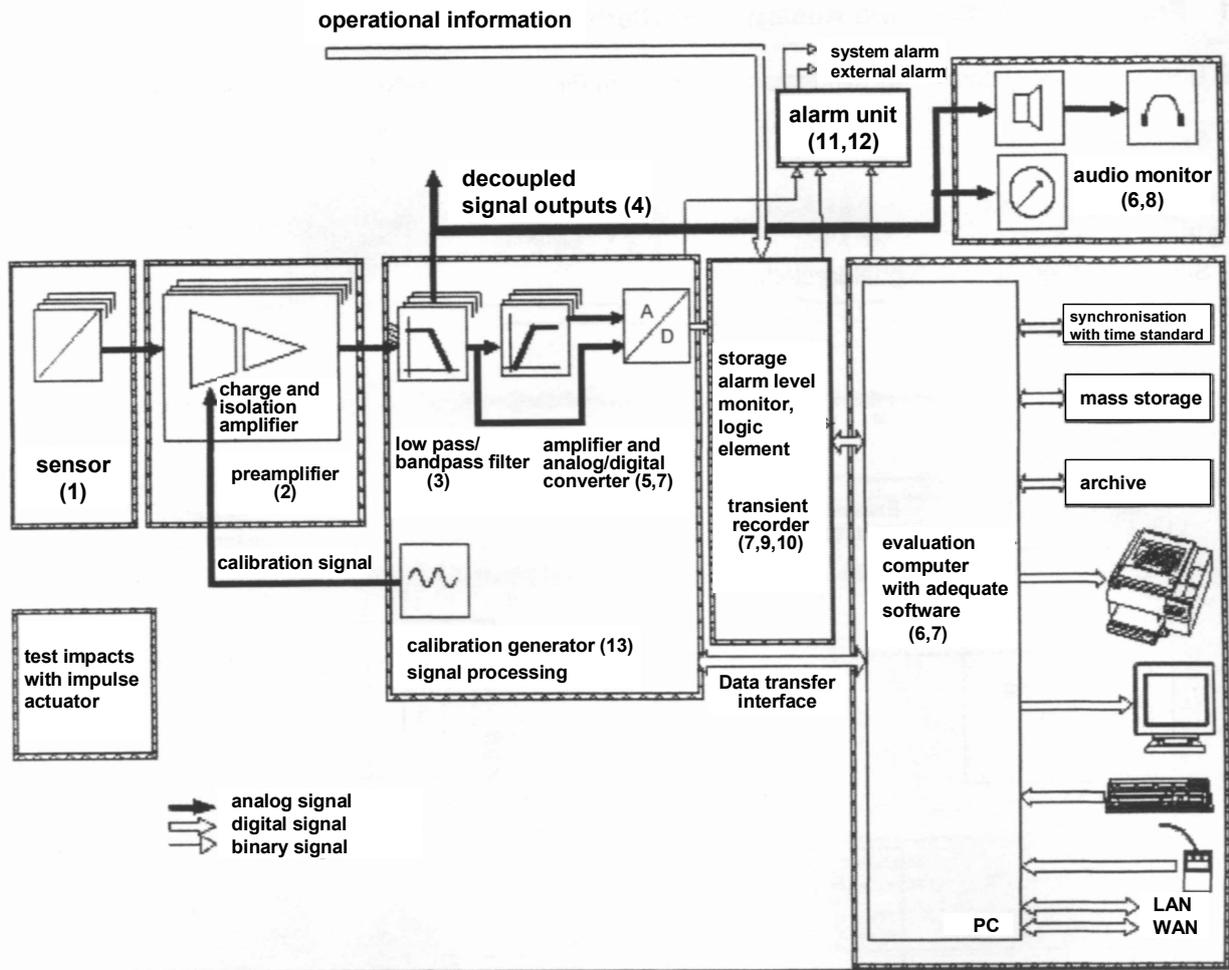
If the resonant frequency of the mounted sound sensor is within the monitored frequency range, the use of units of measurement relative to full scale deflection is recommended.

The block schematic diagrams of typical digital loose parts monitoring systems with transient signal recording and continuous signal recording are exemplified in Annex C with indication of the functional units (see also legend of Figure 1). Clause C.1 of Annex C shows a loose parts monitoring system with transient signal recording, Clause C.2 of Annex C shows a loose parts monitoring system with continuous signal recording.

## Annex C (informative)

### Examples of digital loose parts monitoring systems

#### C.1 Example of a digital loose parts monitoring system with transient signal recording (see Figure C.1)



IEC 1520/09

**Figure C.1 – Block schematic diagram of a digital loose parts monitoring system**

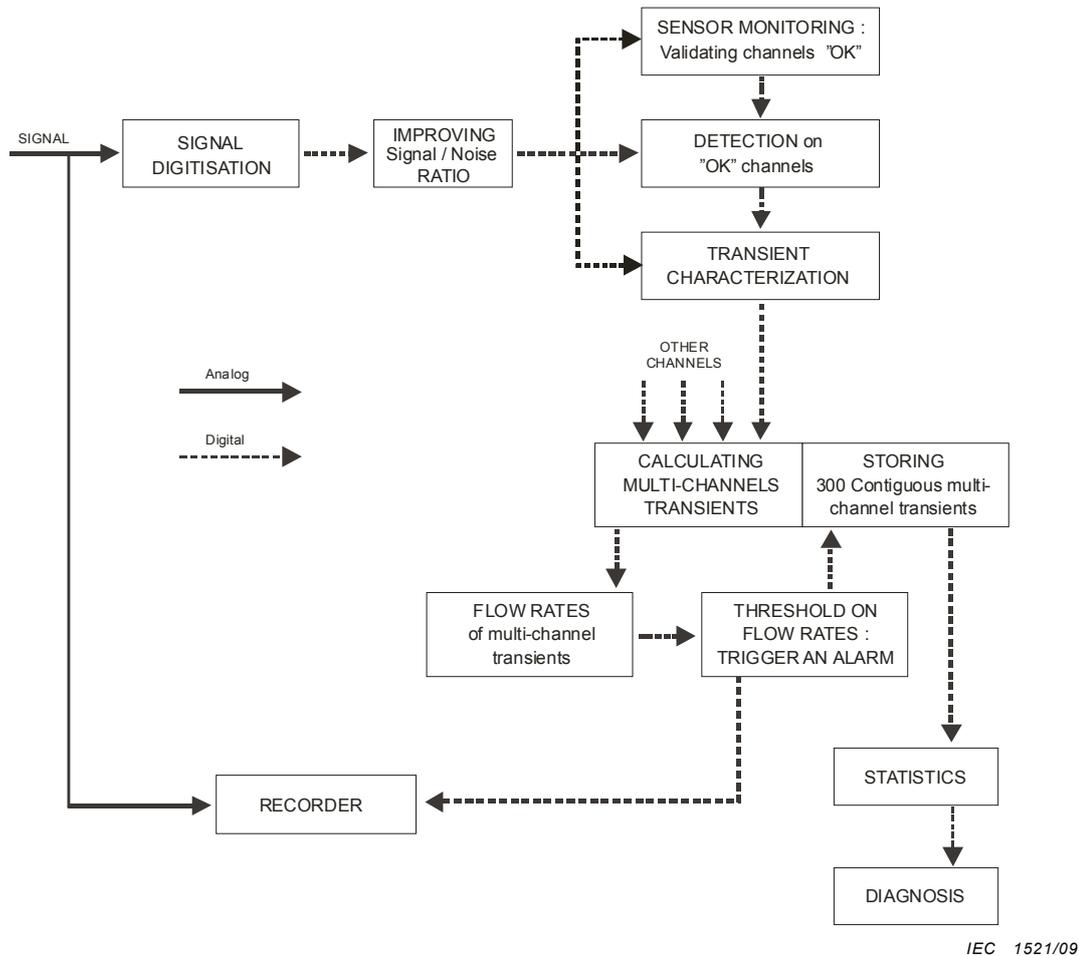
The signals of the sound sensors (1) pass through preamplifiers (2) to the inputs of the signal processing. The wideband, decoupled signal outputs (4) of the signal processing serve to connect external recording and signal processing devices (e.g. for reference recordings) as well as to feed the indicator (6) and the audio unit (8). For further internal processing of the signals, interference signal components are first reduced with the aid of a band-pass filter (3).

The filtered signals are amplified (5), where necessary, and digitised with an analogue/digital converter (7 - digitisation).

The digitised signals are acquired and stored (7 - storage). Internal alarm level monitors (9) and a logic element (10) is used to trigger the transient recorder. The trigger signal is led to the internal alarm unit (11) and to the interface to the external alarm (12). The trigger signal of (9) and (10) starts the storage function of the transient recorder and the data transfer from the transient recorder to the evaluation unit. The final storage (7) (archiving) of the signals is realised in the evaluation unit. Operational information is used for the reduction of the operation-related alarms via the logic element (10) of the transient recorder.

The system should be designed so as to allow for triggering of the functions calibration (13) and the test impacts with impulse actuators per operating commands via the peripheral devices of the evaluation unit. There is the possibility of internal and external data transfer of signal pattern via remote data transmission and network connection.

## C.2 Example of a digital loose parts monitoring system with continuous signal recording (see Figure C.2)



**Figure C.2 – Block schematic diagram of a digital loose parts monitoring system**

After digitisation, the signal / noise ratio is improved (for instance through a high-pass filter or using the spectral subtraction method). The resulting signal is used to monitor the sensors, checking that each of them is OK. On the “OK” channels, the transients are detected and characterized: for instance, their rising time is very precisely measured (precision better than 0,1 ms), as well as their amplitude and duration. Each characterized transient is then assembled in a “multi-channel transient” with other transients, detected on other channels and coming from the same impact of a loose part. A flow rate of the multi-channel transients is calculated, and a threshold is set on this flow-rate: when the threshold is overcome, an alarm is triggered and sent to the control room.

When an alarm is triggered:

- A continuous signal recording is launched.
- The storing of 300 contiguous multi-channel transients is launched: statistics are calculated, and a diagnosis is deduced from the statistics: “there is a loose part”, or “there is no loose part”.

## Annex D (informative)

### Comments on evaluation

The evaluation measures to be performed in an actual case depend on whether there are any variations in the stationary background noises or any single sound events are observed in the monitoring channels.

For an evaluation of variations in the stationary background noises it is useful to determine frequency spectra and to compare these with the corresponding previous ones. Changes in frequency components (peaks):

- may give indications on changes of the sensor adaptation and changes of the electrical measuring chain,
- but may also be caused by a change of the operating mode of the monitored unit.

Moreover, the amplitude distribution density may support the determination of necessary parameters and e.g. give indications on interference within the electrical measuring chain (see Figure D.1).

If bursts occur, the evaluation measures to be performed are directed towards determination of location and cause of sound generation.

For the evaluation, a number of questions have to be answered:

- Is it a single sound event or a multitude of events?
- What is the time distribution of the events? (see Figure D.3)
- Are there groups of bursts of the same type? (see Figure D.2)
- Is the part detached or loosened?

The determination of the following burst parameters is recommended:

- delay differences (see Figure D.4),
- channel-selective burst maximum amplitudes and their time behaviour (trend) (see Figure D.3),
- burst amplitude distribution,
- number of bursts per time unit, burst interval distribution, and
- burst forms (rising edge, burst duration, falling edge, microstructure, burst spectrum (see Figure D.2), trend of RMS).

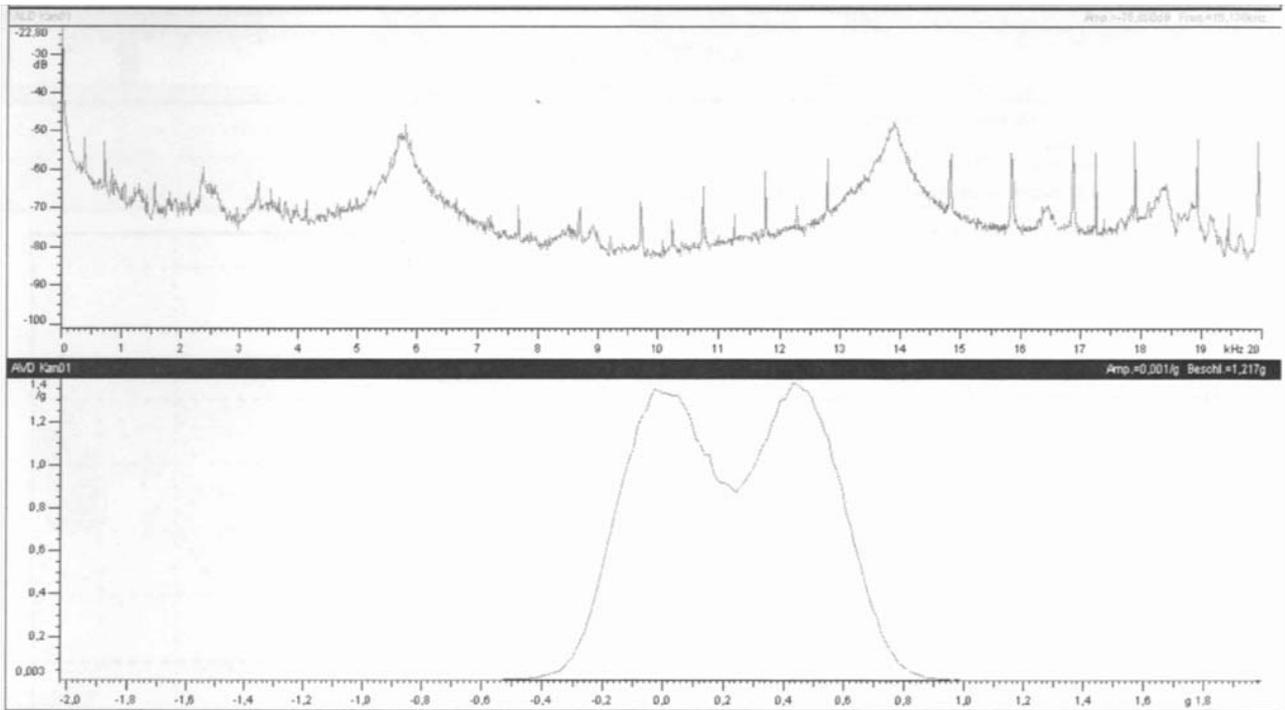
Delay differences serve to locate the loose part. The distribution of the delay differences allows one to clarify whether the part is loosened or is detached (foreign part).

The maximum burst amplitudes provide qualitative information on the impact energy, the burst amplitude distribution is useful for the evaluation of the event.

The identified burst forms allow one to draw conclusions on the length of the sound path and the primary single sound event. Steep rising edges indicate short sound paths, smooth rising edges may indicate longer sound paths. The burst duration depends on the type of single sound event (e.g. loose part, temperature relaxation, flow noise). The burst interval distribution is important for determining the type of excitation (e.g. flow-induced).

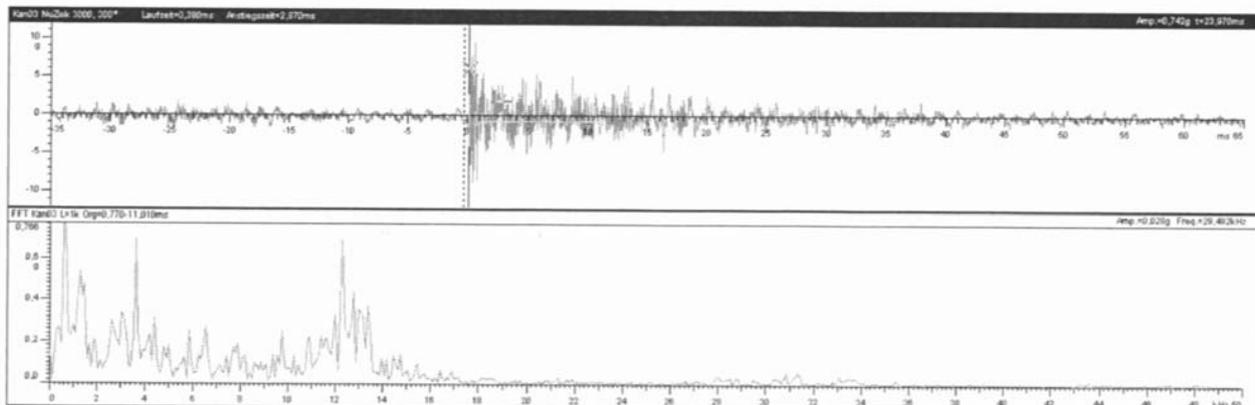
Burst patterns can be assessed with the aid of a high-time resolution of the bursts (including their immediate previous history), the parallel representation of several signal channels and an optimised form of representation for the amplitude resolution of the individual bursts. This last requirement generally means selecting a different scaling for each signal channel.

In addition, further analyses may be required (e.g. digital signal filtering, determination and evaluation of frequency spectra, acoustic evaluation of bursts, classification of burst signals, RMS value for selected frequencies).



IEC 1522/09

**Figure D.1 – Auto power spectral density and amplitude distribution of a measurement signal with electrical interference**



IEC 1523/09

**Figure D.2 – Burst with corresponding frequency spectrum**

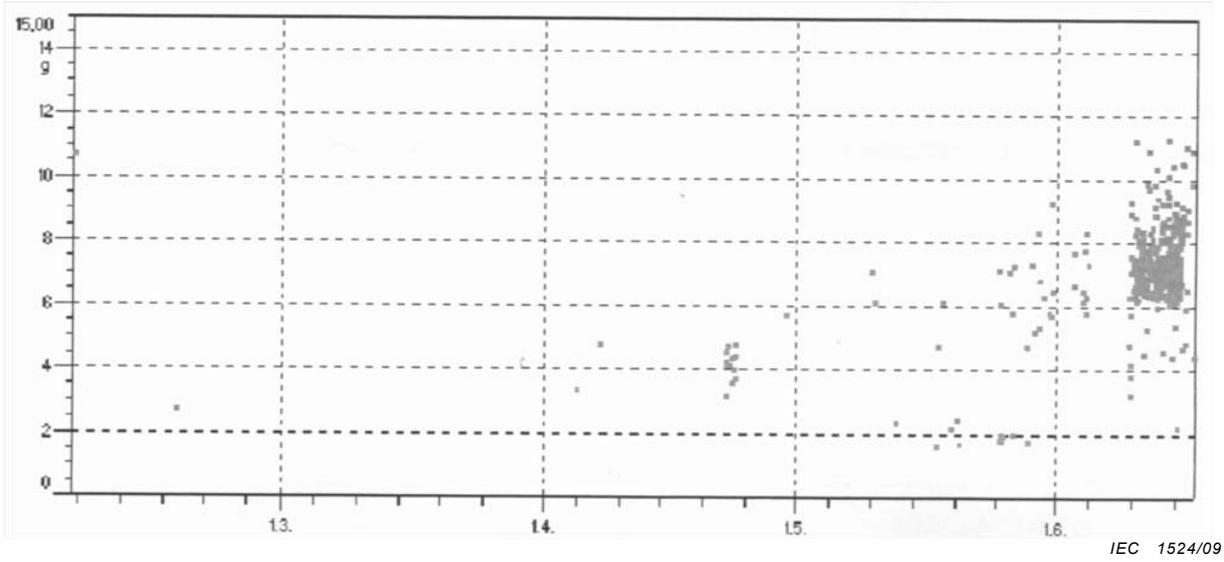


Figure D.3 – Trend and distribution of channel-selective burst-amplitudes

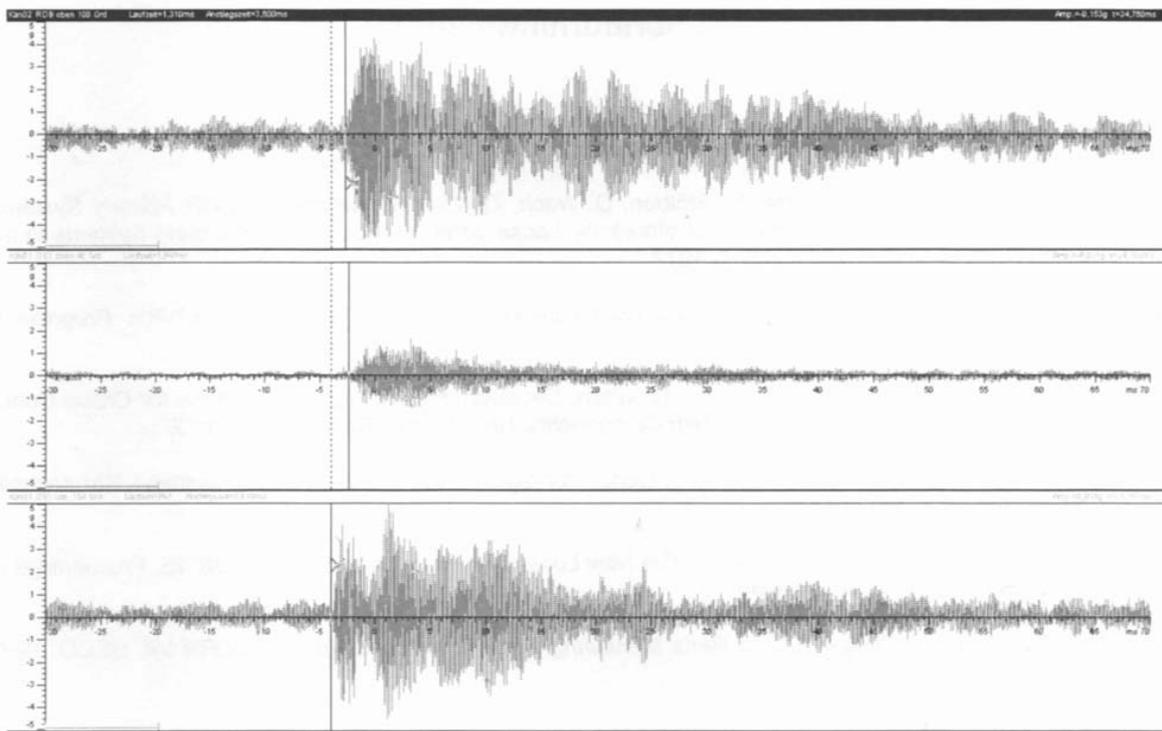


Figure D.4 – Burst signals with determination of delay differences

## Bibliography

W. Goldsmith, *Impact*, Edward Arnold (Publisher) Ltd. London, 1960

W. Bastl, W.H. Dio, B. Raible, H. Stölben, D. Wach, *On-Line Surveillance of LWR Primary Systems, State of the Art and Development of Vibration-, Loose parts- and Leakage Monitoring Systems in the FRG*, Prog. In Nucl. Energy, Vol. 1, 1977

B.J. Olma, *Source Location and mass estimation in loose parts monitoring of LWR's, Progress in Nuclear Energy*, 1985, Vol. 15

V. Bauernfeind, B.J. Olma, R. Sunder, D. Wach, *Development of Diagnostic Methods for Online Condition Monitoring of NPP Primary System Components*, Kerntechnik, Bd. 58 (1993) Nr. 2

B. Olma, *Audio replay of acoustic burst signals for digital loose parts monitoring systems*, Kerntechnik, November 1995, Vol. 60/5-6

B. Bechtold, W. Knoblach, U. Kunze, *The New Loose Part Monitoring System KÜS' 95, Proceedings of SMORN VII*, OECD, NEA, 1996

L. Cleemann, F. Elfinger, *Loose Parts Monitoring System, Proceedings of SMORN VII*, OECD, NEA, 1996

---

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	40
INTRODUCTION.....	42
1 Domaine d'application .....	44
2 Références normatives.....	44
3 Termes et définitions .....	44
4 Objectifs et description de la détection des corps errants .....	46
4.1 Généralités.....	46
4.2 Définition du système.....	46
4.3 Contour du système .....	47
5 Exigences système.....	47
5.1 Structure et critères de conception .....	47
5.2 Acquisition des signaux.....	49
5.2.1 Choix et installation des capteurs acoustiques.....	49
5.2.2 Préamplificateurs.....	50
5.3 Traitement du signal.....	50
5.3.1 Généralités.....	50
5.3.2 Filtres passe-bande .....	50
5.3.3 Signaux de sortie externes .....	51
5.3.4 Amplificateur .....	51
5.4 Stockage et affichage des signaux .....	51
5.4.1 Surveillance du bruit de fond .....	51
5.4.2 Numérisation et stockage .....	51
5.4.3 Unité audio.....	52
5.4.4 Affichage de l'information .....	52
5.5 Surveillance des signaux.....	54
5.5.1 Généralités.....	54
5.5.2 Moniteur de niveaux d'alarme .....	54
5.5.3 Elément logique.....	55
5.6 Etalonnage.....	55
5.6.1 Généralités.....	55
5.6.2 Unité d'essai fonctionnel mécanique.....	56
5.6.3 Unité d'étalonnage électrique .....	56
6 Démarrage initial et fonctionnement .....	56
6.1 Essai du système avant le démarrage initial des pompes primaires.....	56
6.2 Surveillance préliminaire sans niveaux d'alarme.....	57
6.3 Adaptation du système aux exigences de la centrale.....	57
7 Programme de surveillance .....	58
7.1 Généralités.....	58
7.2 Enregistrements de référence.....	58
7.3 Mesures en exploitation.....	59
7.3.1 Surveillance préliminaire .....	59
7.3.2 Surveillance.....	59
7.4 Actions consécutives à une alarme.....	60
7.5 Essais périodiques du système .....	60
7.5.1 Généralités.....	60
7.5.2 Essais fonctionnels.....	60

7.5.3	Essais du système électrique .....	61
7.5.4	Essais d'impact .....	61
8	Documentation .....	62
Annexe A (informative)	Description portant sur la détection des corps errants avec des tracés d'enregistrements acoustiques classiques .....	63
Annexe B (informative)	Description des fonctions détaillées de chaque bloc du diagramme fonctionnel.....	68
Annexe C (informative)	Exemples de systèmes de surveillance des corps errants .....	69
Annexe D (informative)	Commentaires sur l'analyse .....	72
	Bibliographie.....	75
Figure 1	– Diagramme fonctionnel d'un système de surveillance des corps errants.....	48
Figure A.1a	– Signaux typiques du bruit de fond dans un réacteur à eau pressurisée .....	64
Figure A.1b	– Signaux typiques du bruit de fond dans un réacteur bouillant.....	64
Figure A.1	– Signaux typiques .....	64
Figure A.2	– Signaux présentant un transitoire conséquence d'un évènement acoustique élémentaire lié à l'exploitation (commande de grappes) .....	65
Figure A.3	– Signaux présentant un transitoire conséquence de l'impact d'un corps errant (broche de plaque supérieure de support du cœur).....	65
Figure A.4a	– Signaux présentant des transitoires conséquence d'un essai d'impact sur un réacteur bouillant .....	66
Figure A.4b	– Emplacements sur un réacteur bouillant.....	66
Figure A.4	– Réacteur à eau bouillante .....	66
Figure A.5a	– Signaux présentant des transitoires conséquence d'un essai d'impact sur un réacteur à eau pressurisée.....	67
Figure A.5b	– Emplacements sur un réacteur à eau pressurisée .....	67
Figure A.5	– Réacteur à eau pressurisée .....	67
Figure C.1	– Diagramme schématique modulaire d'un système de surveillance des corps errants avec enregistrement intermittent.....	69
Figure C.2	– Diagramme schématique modulaire d'un système de surveillance des corps errants .....	70
Figure D.1	– Densité spectrale de puissance ou autospectre du signal de mesure incluant des interférences électriques .....	73
Figure D.2	– Transitoire avec spectre de fréquences correspondant .....	73
Figure D.3	– Evolution et distribution des amplitudes de transitoires pour une voie sélectionnée .....	74
Figure D.4	– Signaux de transitoire avec détermination des différences d'arrivée .....	74

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

# **CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE POUR LA DÉTECTION DES CORPS ERRANTS: CARACTÉRISTIQUES, CRITÈRES DE CONCEPTION ET PROCÉDURES D'EXPLOITATION**

### AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 60988 a été établie par le sous-comité 45A: Instrumentation et contrôle-commande des installations nucléaires, du comité d'études 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Cette seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 1990. Cette édition constitue à une révision technique.

Les principales modifications techniques par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- mise à jour du contenu de la norme par rapport à certains changements technologiques et revue et révision des recommandations;
- intégration de considérations et de recommandations portant sur la numérisation des systèmes de surveillance des corps errants pour fournir des exigences applicables à de tels systèmes;

- ajout d'un paragraphe d'introduction à jour décrivant les technologies de surveillance;
- discussion et ajout de recommandations sur l'architecture des systèmes de surveillance des corps errants;
- intégration de recommandations mises à jour et améliorées portant sur l'enregistrement et l'affichage de l'information, la surveillance des niveaux d'alarme et les éléments logiques;
- ajout de recommandations portant sur les mesures fonctionnelles et de performance validées par le retour d'expérience relatif au fonctionnement des systèmes de surveillance, y compris des informations de détail pertinentes portant sur les actions qui doivent être déclenchées après détection des corps errants;
- ajout de recommandations améliorées portant sur les essais;
- amélioration de la cohérence, de la clarté et de la présentation du contenu de la norme et correction des erreurs trouvées dans la version précédente;
- prise en compte des commentaires liés à l'analyse au niveau des annexes informatives et intégration des références appropriées;
- prise en compte bénéfique du retour d'expérience des nations prenant part aux activités du SC 45A.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
45A/754/FDIS	45A/775/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.

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

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

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

## INTRODUCTION

### **a) Contexte technique, questions importantes et structure de cette norme**

Cette norme CEI s'intéresse plus particulièrement aux systèmes de surveillance acoustiques utilisés pour la détection des corps errants. Elle décrit les principes, les caractéristiques et les méthodes d'essai pour ces systèmes.

L'objectif de cette norme est d'être utilisée par les exploitants de centrales nucléaires, les évaluateurs de système et par les régulateurs.

### **b) Position de la présente norme dans la collection de normes du SC 45A de la CEI**

La CEI 60988 est le document du SC 45A de la CEI de troisième niveau qui traite des systèmes de surveillance acoustique utilisés pour la détection des corps errants dans les réacteurs de puissance.

Pour plus de détails sur la collection de normes du SC 45A de la CEI, voir le point d) de cette introduction.

### **c) Recommandations et limites relatives à l'application de cette norme**

Il est important de noter que cette norme n'établit pas d'exigence fonctionnelle supplémentaire pour les systèmes de sûreté.

### **d) Description de la structure de la collection des normes du SC 45A de la CEI et relations d'autres documents de la CEI et d'autres organisations (AIEA,ISO)**

Le document de niveau supérieur de la collection de normes produites par le SC 45A de la CEI est la CEI 61513. Cette norme traite des exigences relatives aux systèmes et équipements d'instrumentation et de contrôle-commande (systèmes d'I&C) utilisés pour accomplir les fonctions importantes pour la sûreté des centrales nucléaires, et structure la collection de normes du SC 45A de la CEI.

La CEI 61513 fait directement référence aux autres normes du SC 45A de la CEI traitant de sujets génériques, tels que la catégorisation des fonctions et le classement des systèmes, la qualification, la séparation des systèmes, les défaillances de cause commune, les aspects logiciels et les aspects matériels relatifs aux systèmes programmés, et la conception des salles de commande. Il convient de considérer que ces normes, de second niveau, forment, avec la norme CEI 61513, un ensemble documentaire cohérent.

Au troisième niveau, les normes du SC 45A de la CEI, qui ne sont généralement pas référencées directement par la norme CEI 61513, sont relatives à des matériels particuliers, à des méthodes ou à des activités spécifiques. Généralement ces documents, qui font référence aux documents de deuxième niveau pour les activités génériques, peuvent être utilisés de façon isolée.

Un quatrième niveau qui est une extension de la collection de normes du SC 45A de la CEI correspond aux rapports techniques qui ne sont pas des documents normatifs.

La CEI 61513 a adopté une présentation similaire à celle de la CEI 61508, avec un cycle de vie et de sûreté global, un cycle de vie et de sûreté des systèmes, et une interprétation des exigences générales de la CEI 61508-1, de la CEI 61508-2 et de la CEI 61508-4 pour le secteur nucléaire. La conformité à la CEI 61513 facilite la compatibilité avec les exigences de la CEI 61508 telles qu'elles ont été interprétées dans l'industrie nucléaire. Dans ce cadre, la CEI 60880 et la CEI 62138 correspondent à la CEI 61508-3 pour le secteur nucléaire.

La CEI 61513 fait référence aux normes ISO ainsi qu'au document AIEA 50-C-QA (remplacé depuis par le document AIEA GS-R-3) pour ce qui concerne l'assurance qualité.

Les normes produites par le SC 45A de la CEI sont élaborées de façon à être en accord avec les principes de sûreté fondamentaux du Code AIEA sur la sûreté des centrales nucléaires, ainsi qu'avec les guides de sûreté de l'AIEA, en particulier avec le document d'exigences NS-R-1 qui établit les exigences de sûreté relatives à la conception des centrales nucléaires et avec le guide de sûreté NS-G-1.3 qui traite de l'instrumentation et du contrôle commande importants pour la sûreté des centrales nucléaires. La terminologie et les définitions utilisées dans les normes produites par le SC 45A sont conformes à celles utilisées par l'AIEA.

# **CENTRALES NUCLÉAIRES DE PUISSANCE – INSTRUMENTATION IMPORTANTE POUR LA SÛRETÉ – SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE POUR LA DÉTECTION DES CORPS ERRANTS: CARACTÉRISTIQUES, CRITÈRES DE CONCEPTION ET PROCÉDURES D'EXPLOITATION**

## **1 Domaine d'application**

Cette Norme internationale est applicable aux systèmes utilisés sur site pour la surveillance en continu des bruits propagés par les structures, mesurés sur l'enveloppe du circuit primaire des réacteurs à eau légère dans le but de détecter les corps errants.

## **2 Références normatives**

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

CEI 61226, *Centrales nucléaires de puissance – Systèmes d'instrumentation et de contrôle commande importants pour la sûreté – Classement des fonctions d'instrumentation et de contrôle commande*

CEI 61513, *Centrales nucléaires – Instrumentation et contrôle commande des systèmes importants pour la sûreté – Prescriptions générales pour les systèmes*

## **3 Termes et définitions**

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

### **3.1**

#### **fréquence de résonance adaptative**

fréquence naturelle des liaisons mécaniques (par exemple, des boulons, des aimants), y compris des capteurs de sons

### **3.2**

#### **seuil d'alarme**

dispositif qui compare la valeur d'une variable à un seuil fixe ou variable et dont le signal de sortie change d'état lorsque le seuil est dépassé

### **3.3**

#### **bruit de fond**

bruit émis par la structure pendant le fonctionnement du réacteur, même en l'absence de corps errant. Il est composé d'un bruit de fond stationnaire et d'événements acoustiques élémentaires liés au fonctionnement

### **3.4**

#### **distribution des amplitudes des transitoires**

distribution de fréquence des amplitudes maximales observées sur les transitoires du signal du capteur acoustique

**3.5****distribution des intervalles entre transitoires**

distribution de fréquence des intervalles de temps observés entre les transitoires individuels au niveau du signal du capteur acoustique

**3.6****différence de temps d'arrivée**

intervalle de temps mesuré entre les instants d'apparition des transitoires produits par un évènement acoustique élémentaire au niveau des signaux de différents capteurs acoustiques

**3.7****élément de structure détaché**

élément qui s'est détaché de la structure dans le circuit primaire et qui de ce fait peut être entraîné par le réfrigérant du réacteur

**3.8****évènement connu**

évènement pour lequel des évènements similaires sont survenus de façon répétée, ont été enregistrés, estimés et évalués et dont la signature a été identifiée et définie (par exemple forme du signal, retard)

NOTE Un évènement connu peut être un transitoire unique ou un ensemble de transitoires. Un évènement connu peut être classé comme justifiant une alarme ou ne justifiant pas une alarme.

**3.9****corps errant**

élément de structure détaché, élément de structure desserré ou corps étranger

**3.10****élément de structure desserré**

élément qui s'est désolidarisé tout en restant néanmoins raccordé aux structures auxquelles il était solidement fixé à l'origine

**3.11****signal surveillé**

signal compris dans la bande passante du filtre appliqué au signal du capteur acoustique

**3.12****facteur de résonance**

rapport entre l'amplitude du signal à la fréquence naturelle de la réponse et l'amplitude dans la partie basse de la réponse fréquentielle du système comprenant le capteur et les fixations

**3.13****inhibition de l'alarme voie unique**

fonction qui inhibe une alarme si seulement une voie a détecté un évènement acoustique élémentaire. Une alarme est émise si au moins une seconde voie a détecté le même évènement acoustique élémentaire

**3.14****évènement acoustique élémentaire**

onde sonore émise par la structure et produite par un évènement acoustique élémentaire qui se superpose au bruit de fond stationnaire (par exemple impact d'un corps errant, bruit dû aux commandes de grappe ou relâchement subit de contrainte)

**3.15****transitoire sonore**

composant du signal issu du capteur acoustique résultant d'un évènement unique qui est à l'origine du son qui est superposé au signal correspondant au bruit de fond stationnaire

NOTE Dans cette norme le terme transitoire est équivalent.

### 3.16

#### **capteur acoustique**

convertisseur d'énergie mécanique en énergie électrique sensible aux ondes sonores émises par les structures qui sont détectables à la surface d'un corps solide sous forme de déplacement, de vitesse ou d'accélération

### 3.17

#### **bruit de fond stationnaire**

constitué de composantes aléatoires (par exemple bruit d'écoulement du fluide caloporteur, résonances fluides) et de composantes déterministes (par exemple bruit dépendant de la vitesse des pompes)

### 3.18

#### **onde sonore émise par la structure**

onde qui se propage dans les corps solides. Dans cette norme, l'onde sonore émise par la structure correspond à un son situé dans la gamme de fréquences audible

## **4 Objectifs et description de la détection des corps errants**

### **4.1 Généralités**

La présence de corps errants dans le circuit primaire peut être un signe de dégradation de la sûreté du réacteur résultant de la rupture ou de l'usure d'un composant ou de l'oubli d'un corps étranger dans le circuit primaire lors de la construction, d'un rechargement ou d'une opération de maintenance. Un corps errant peut entraîner l'endommagement de composants et l'usure de matériaux, suite aux impacts du corps errant sur les autres composants du système. Un corps errant peut représenter un risque de perte totale ou partielle du débit pouvant entraîner une crise d'ébullition qui à son tour peut avoir pour conséquence un endommagement des gaines combustible.

La détection anticipée de corps errants peut permettre d'avoir le temps nécessaire pour éviter ou pour limiter les dommages ayant un impact sur la sûreté, ou les dysfonctionnements de composants du système primaire. Le principal objectif de la détection des corps errants est la détection anticipée des éléments métalliques détachés ou desserrés ainsi que des dommages collatéraux possibles pour:

- a) le cœur du réacteur,
- b) les autres structures internes du circuit primaire, ou
- c) l'enveloppe du circuit primaire.

Des systèmes adaptés doivent être installés pour ce faire.

Des systèmes de détection des corps errants sont utilisés avec succès sur les réacteurs à eau depuis plusieurs années, ils ont permis de détecter des boulons, des outils oubliés lors de la construction ou lors de rechargement, qui sinon auraient pu faire des dégâts significatifs. Ils ont normalement un classement de sûreté faible, mais du fait des dégâts que pourrait occasionner un corps errant, les autorités de sûreté souhaitent que de tels systèmes soient installés.

### **4.2 Définition du système**

Suivant les règlements de sûreté en vigueur dans le pays :

- Le système s'intéresse principalement à la détection des corps errants dans le circuit primaire. Le système peut en plus surveiller les vibrations au niveau du circuit primaire. Cette option (hors du domaine de la présente norme) peut avoir des conséquences quant au nombre et à la localisation des capteurs.

- L'expertise nécessaire pour faire les diagnostics peut être présente:
  - localement sur chaque site, ce qui implique que les outils d'analyse soient disponibles sur site et que les opérateurs du site aient été formés pour interpréter le signal;
  - déportée à l'extérieur du site, au niveau national, ce qui implique que le transfert de toutes les données nécessaires aux experts soit toujours opérationnel.
- Le déclenchement d'une alarme au niveau de la salle de commande peut se faire sur le dépassement d'un seuil par le signal correspondant à:
  - l'amplitude d'un transitoire pour un événement acoustique élémentaire. Ceci permettant d'enregistrer et d'analyser le signal événement par événement, ou à
  - la vitesse avec laquelle les transitoires sont détectés. Ce qui implique un enregistrement continu des signaux. Le diagnostic est alors fait à partir d'une analyse couvrant plusieurs événements acoustiques élémentaires.
- La surveillance de l'état des capteurs peut être réalisée par:
  - un matériel d'essai pour l'étalonnage de la voie de mesure et des marteaux pour produire des impacts sur le circuit primaire, ou par
  - un traitement du signal approprié et une surveillance renforcée du bruit de fond.

Lors de la conception d'un nouveau système, il convient, dans une première étape, de faire un choix parmi les éléments ci-dessus. La définition du système doit être spécifiée suivant la réglementation en vigueur dans le pays.

### 4.3 Contour du système

Les systèmes de détection des corps errants sont généralement constitués d'un ensemble d'accéléromètres montés sur la cuve, sur les générateurs de vapeur ou sur les corps des pompes primaires, et d'un traitement électronique associé pour filtrer les signaux acoustiques provenant des capteurs et pour surveiller ces derniers dans le but de produire des alarmes. Des moyens d'enregistrement sont mis en œuvre, et les opérateurs écoutent régulièrement le bruit au moyen des capteurs, et plus particulièrement après un rechargement du fait de la sensibilité et de la capacité de traitement de l'oreille humaine. Une description complète avec des exemples d'enregistrements acoustiques caractéristiques sont fournis en Annexe A.

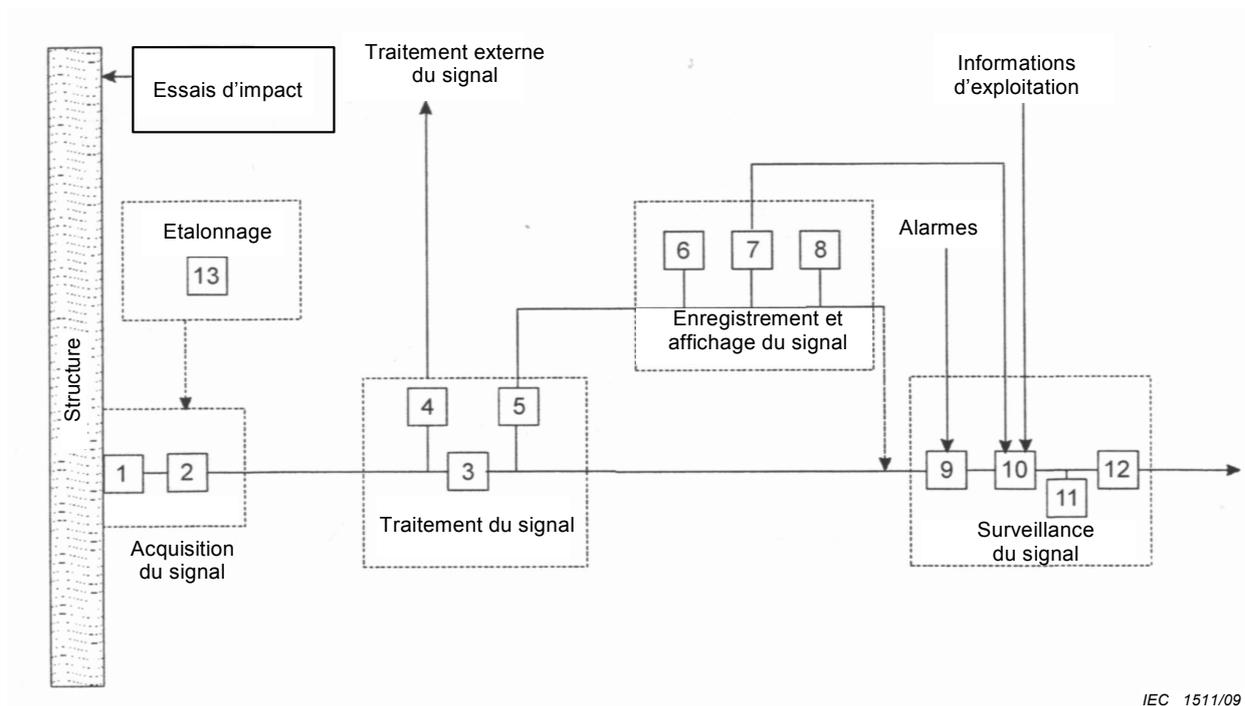
## 5 Exigences système

### 5.1 Structure et critères de conception

Généralement le système assure les fonctions de base suivantes (voir la Figure 1):

- acquisition du signal,
- traitement du signal,
- enregistrement et affichage du signal,
- surveillance du signal,
- étalonnage.

Les exigences correspondant à chaque fonction de base sont décrites dans les paragraphes suivants.



**Légende**

- |   |                              |    |   |
|---|------------------------------|----|---|
| 1 | Capteur acoustique           | 8  | Unité audio                             |
| 2 | Préamplificateur             | 9  | Surveillance du niveau d'alarme         |
| 3 | Filtre bande-passante        | 10 | Logique                                 |
| 4 | Sorties du signal découplées | 11 | Unité d'alarme interne                  |
| 5 | Amplificateur                | 12 | Interface vers l'unité d'alarme externe |
| 6 | Indicateur (affichage)       | 13 | Unité d'étalonnage                      |
| 7 | Enregistrement ou stockage   |    |   |

NOTE 1 Les signaux de commande ne sont pas représentés.

NOTE 2 Les matériels d'étalonnage en ligne et les unités d'essais d'impact ne sont pas nécessairement installés en permanence.

NOTE 3 Le système de surveillance est un système d'exploitation dont les fonctions ne sont pas classées dans des classes de sûreté élevées conformément à la CEI 61513 et à la CEI 61226.

**Figure 1 – Diagramme fonctionnel d'un système de surveillance des corps errants**

Les fonctions détaillées de chaque bloc sont décrites dans l'Annexe informative B et des exigences particulières sont données dans les paragraphes ci-dessous.

La conception et l'installation du système (y compris la sensibilité de détection) doivent être conformes à la réglementation en vigueur dans le pays, relative aux systèmes d'instrumentation et de contrôle commande pour le réacteur particulier considéré.

Le système doit être conçu de manière à utiliser une gamme de fréquences compatible avec des algorithmes de détection garantissant une sensibilité suffisante du système pour détecter un corps errant métallique en produisant un minimum de fausses alarmes. Suivant

l'algorithme de détection, la gamme de fréquences est généralement comprise entre  $f_a = 0,5$  Hz à 1 kHz et  $f_b = 10$  kHz à 20 kHz, où  $f_a$  et  $f_b$  font référence aux fréquences de 3 dB inférieure et supérieure à la largeur de la bande passante.

NOTE L'utilisation de  $f_b = 20$  kHz est très adaptée.

Il convient que les différences pour les fonctions de transfert, entre voies de mesure, hors capteur acoustique, ne dépassent pas 1 dB, lorsqu'on sélectionne des fréquences de coupure identiques de la bande passante des filtres.

## 5.2 Acquisition des signaux

### 5.2.1 Choix et installation des capteurs acoustiques

Les capteurs acoustiques utilisés doivent être de préférence de type piézoélectrique. On doit les choisir de façon à ce qu'ils résistent aux conditions d'ambiance (par exemple, exposition simultanée à de hauts niveaux de température et de rayonnements, projections d'eau) caractéristiques de leurs emplacements d'installation.

Les capteurs acoustiques doivent être montés sur la surface externe de l'enveloppe du circuit primaire.

Toutes les méthodes de fixation (par exemple, fixations à vis, de type magnétique ou à brides) qui satisfont aux exigences de cette norme peuvent être utilisées. Il convient que tous les capteurs acoustiques présentent des caractéristiques de réponse uniforme.

Les emplacements de montage doivent être choisis sur la base des éléments suivants:

- les capteurs acoustiques doivent être montés dans les zones à surveiller. Les zones à surveiller sont par exemple le fond de cuve, et les boîtes à eau d'entrée des générateurs de vapeur,
- il convient que les capteurs acoustiques soient montés dans des zones accessibles pour lesquelles les conditions de transmission des ondes sonores entre les structures internes et l'enveloppe du circuit primaire sont particulièrement bonnes (par exemple dans la zone des tuyauteries d'un réacteur à eau sous pression, dans la zone des éléments support du cœur et dans la zone de l'anneau support du sécheur pour un réacteur bouillant),
- il convient que l'on puisse remplacer les capteurs acoustiques,
- la disposition des capteurs acoustiques ne doit pas limiter l'accessibilité pour les contrôles non destructifs, il convient que les emplacements des capteurs soient choisis pour limiter les débits de dose reçus par le matériel et par le personnel réalisant la maintenance sur le matériel.

Le nombre de capteurs à installer dans chaque zone à surveiller est directement relié à la fonction à remplir. S'il s'agit seulement de détecter un corps errant, alors un seul capteur acoustique est suffisant. Pour distinguer entre éléments détachés et desserrés, l'utilisation de deux capteurs semble être adaptée dans la plupart des cas. Lorsqu'il est nécessaire de localiser un corps errant suivant deux axes, il est nécessaire de disposer d'au moins trois capteurs (par exemple surveillance de la cuve).

En cas de défaillance de capteurs inaccessibles, de nouveaux capteurs acoustiques peuvent être installés dans des zones accessibles en remplacement, en prenant en compte le contenu informatif du signal par rapport au débit de dose absorbé par le personnel réalisant les opérations de maintenance.

NOTE Il peut être préférable de mettre au moins deux capteurs dans chaque zone à surveiller pour éviter la perte d'information due à la défaillance d'un capteur. D'autres capteurs acoustiques peuvent être nécessaires pour le diagnostic d'événements acoustiques élémentaires. Les signaux associés peuvent être surveillés séparément.

Lors de l'installation des capteurs acoustiques, les emplacements de montage doivent être préparés en prenant en compte la nature des branchements prévus. Il est recommandé que la surface de montage soit compatible avec le type de montage prévu. De plus les fixations par vis et par brides doivent être garanties contre le desserrement et les fixations magnétiques contre le glissement. Des dispositions doivent être prises pour relaxer les contraintes sur les câbles.

Il convient que l'installation sur site des capteurs ait été acceptée par les ingénieurs de conception et ceux responsables de l'installation du site qui s'occupent des éléments de chaudronnerie à surveiller ainsi que de leur isolation thermique. Il convient d'utiliser des éléments d'isolation démontables pour pouvoir accéder aux capteurs.

### 5.2.2 Préamplificateurs

Il convient que les signaux issus des capteurs acoustiques soient convertis au niveau des préamplificateurs (ou convertisseurs d'impédance) de telle façon que la transmission à l'unité de traitement du signal soit aussi peu affectée que possible par les parasites. Il convient que la conception des préamplificateurs prenne en compte les conditions d'ambiance qui prévalent sur l'emplacement d'installation. Les interférences électriques doivent être minimisées en choisissant judicieusement le type de câble, leurs cheminements et leurs longueurs, ceci en tenant compte des opérations d'installation et de maintenance. Ces câbles doivent être conçus pour résister aux conditions d'ambiance. Le gain du préamplificateur doit être ajusté à la sensibilité de chaque capteur acoustique de façon à ce que toutes les voies aient la même sensibilité nominale avec une tolérance de  $\pm 10\%$ .

NOTE On peut aussi obtenir des sensibilités identiques pour les voies avec une tolérance de  $\pm 10\%$  en ajustant le gain des unités de traitement.

La fréquence de coupure supérieure doit être choisie pour que la fréquence de résonance adaptative soit transmise.

## 5.3 Traitement du signal

### 5.3.1 Généralités

Il convient que les fonctions de traitement du signal:

- améliorent le rapport signal sur bruit de fond stationnaire au moyen de filtrage passe-bande,
- fournissent des signaux non filtrés pour le traitement externe,
- mettent en forme les signaux en vue de leur enregistrement,
- affichent et surveillent les signaux.

Ces exigences peuvent être satisfaites de différentes façons, si les critères de conception du 5.1 sont satisfaits. L'unité de traitement du signal comprend normalement différents modules, dont les suivants.

### 5.3.2 Filtres passe-bande

Les filtres passe-bande doivent au minimum présenter les caractéristiques suivantes:

- atténuation du filtre: 24 dB/octave,
- linéarité maximale du filtre:  $\pm 1$  dB,
- bande passante:  $f_a \leq f \leq f_b$ .

La gamme d'amplitudes qui peut être transmise doit être adaptée à celle des préamplificateurs.

NOTE L'utilisation de filtres supplémentaires (permanent ou temporaire) ou d'une méthode de réduction spectrale pour limiter encore plus les interférences du signal avec le bruit de fond stationnaire dans la bande passante est admise.

### 5.3.3 Signaux de sortie externes

Il convient que les modules délivrant les signaux de sortie externes soient à l'épreuve des court-circuits et isolés par des circuits de sortie de transformation. Leur conception doit prendre en compte l'ensemble des gammes de fréquences et d'amplitudes du préamplificateur qui devront être transmises. Le signal de sortie doit être compatible avec le matériel de traitement du signal.

### 5.3.4 Amplificateur

Si un amplificateur est nécessaire pour améliorer l'affichage du signal ou pour une unité audio, on recommande l'emploi d'un amplificateur à gain variable. Il convient que le gain puisse être augmenté en quatre étapes, d'approximativement 10 dB à chaque fois.

## 5.4 Stockage et affichage des signaux

### 5.4.1 Surveillance du bruit de fond

Une méthode de surveillance du bruit de fond des signaux des capteurs doit être prévue. Cela peut être réalisé soit en utilisant le signal brut, l'enveloppe du signal ou la valeur efficace du signal. L'indicateur de valeur efficace (r.m.s. en anglais) peut être utilisé pour évaluer le niveau de bruit de fond et les signaux utilisés pour l'essai fonctionnel. La conception de cette unité doit permettre la visualisation des valeurs efficaces de tous les signaux (par exemple voltmètre efficace avec un commutateur de sélection) ou d'afficher une estimation du bruit de fond. Les valeurs efficaces doivent au minimum satisfaire aux exigences suivantes:

- gamme de fréquences:  $0,7 \times f_a \leq f \leq 1,5 \times f_b$ ,
- facteur de crête:  $> 5$ ,
- précision meilleure que 10 % de la pleine échelle,
- temps d'intégration:  $1 \text{ s} < t_i < 5 \text{ s}$ .

Le calcul par ordinateur du bruit de fond peut améliorer ces caractéristiques.

### 5.4.2 Numérisation et stockage

Le système de surveillance des corps errants doit intégrer une unité de stockage numérique des signaux à des fins d'archivage et d'analyse des signaux.

Il convient que le système intègre un dispositif permettant de stocker tous les signaux des voies. Il doit permettre le traitement synchrone d'un nombre suffisant de voies, pour que toutes les voies nécessaires à la localisation spatiale dans les différentes zones à surveiller puissent être enregistrées simultanément.

Le stockage de chaque valeur du signal doit satisfaire aux exigences suivantes:

- taux d'échantillonnage par voie  $\geq 48 \text{ kHz}$ ,
- résolution:  $\geq 11 \text{ bit}$ .

La conception doit prévoir un dispositif pour enregistrer automatiquement les signaux sur un dépassement de niveau d'alarme. L'enregistrement en continu ou par intermittence peut être utilisé.

Pour l'enregistrement par intermittence, les signaux sont stockés transitoire par transitoire. Une alarme peut être produite sur dépassement d'un seuil lié à l'amplitude du transitoire d'un événement acoustique élémentaire.

Pour l'enregistrement des signaux en continu, le bruit de fond et les transitoires de bas niveau compris entre les transitoires faisant l'objet de détection sont enregistrés. Une alarme peut être produite à partir du taux avec lequel on détecte les transitoires associés aux événements acoustiques élémentaires.

L'enregistrement par intermittence des signaux doit au minimum satisfaire aux exigences suivantes:

- longueur de l'intervalle d'enregistrement:  $\geq 40$  ms,
- temps de déclenchement: 0 % à 100 % de la longueur de l'intervalle d'enregistrement, ajustable
- temps mort:  $\leq 200$  ms,
- capacité de stockage: au minimum, 300 événements consécutifs sur la base d'une longueur d'intervalle d'enregistrement  $\leq 100$  ms.

Pour l'enregistrement en continu, le temps d'enregistrement doit être compris entre 10 min et 20 min sur au moins 4 voies. Si l'enregistreur ne peut pas enregistrer toutes les voies simultanément, on doit pouvoir multiplexer pour que les signaux d'une zone à surveiller soient réorientés sur l'enregistreur.

Il convient de pouvoir électroniquement archiver les événements acoustiques élémentaires enregistrés lors des surveillances (voir 7.3.2) sur au moins une période de deux ans.

#### 5.4.3 Unité audio

L'audition humaine des signaux collectés par les capteurs acoustiques est une méthode subjective éprouvée d'évaluation en ligne des signaux.

L'unité audio doit être conçue pour qu'on puisse assurer la surveillance audio de chaque voie de mesure.

Les unités audio doivent satisfaire au minimum aux exigences suivantes:

- gamme de fréquences:  $f_a \leq f \leq f_b$ ,
- sortie casque prévue (conception stéréophonique acceptable),
- volume: variable.

Un haut-parleur supplémentaire peut être mis à disposition.

#### 5.4.4 Affichage de l'information

Il convient que pour l'affichage et le stockage, les données principales liées à un événement comprennent au minimum les éléments suivants:

- a) information liée à l'évènement
  - 1) identificateur de l'évènement garantissant une identification claire,
  - 2) code système,
  - 3) date et heure de l'évènement,
  - 4) principaux paramètres du stockage numérique.
- b) information liée à la voie
  - 1) indicateur de valeur efficace du bruit de fond (ceci pouvant intégrer des composants du transitoire),
  - 2) niveaux d'alarme au moment où est survenu l'incident,
  - 3) voie de mesure ayant détecté l'évènement,

4) autres voies de mesure pour lesquelles les niveaux d'alarme ont été dépassés.

L'analyse des événements détectés peut être faite par les experts sur site ou déportée à l'extérieur du site.

Si l'analyse des événements détectés n'est pas réalisée sur le site par des experts, il convient que les données principales soient fournies par le site (les méthodes d'analyse déportée sont hors du domaine de cette norme). Dans le cas d'une analyse sur site l'affichage d'information peut être limité à:

- l'indication de la zone à surveiller qui a déclenché l'alarme (par exemple partie inférieure du générateur de vapeur, fond de cuve),
- les amplitudes et la fréquence d'apparition des transitoires, et
- le nombre de voies affectées.

Lorsque l'analyse est réalisée sur site il convient d'afficher:

- des tableaux de données relatifs aux paramètres de réglage du système et les données liées à l'évènement enregistré,
- des graphiques représentant les signaux relatifs à l'onde sonore émise par les structures conçus de façon à faciliter l'évaluation de l'évènement par les opérateurs.

Pour ces types d'affichage, l'utilisation d'écrans couleur haute-définition est recommandée. Pour les impressions, au moins une imprimante graphique noir et blanc doit être utilisée.

Il convient de noter les tableaux de données relatifs aux paramètres de réglage du système à l'instant de l'apparition de l'évènement pour s'assurer qu'une bonne évaluation des événements puisse être réalisée n'importe quand et en garantir la traçabilité.

L'affichage graphique des signaux liés aux ondes sonores émises par les structures est utilisé pour visualiser dans le temps les signaux liés à un événement. Ce type d'affichage permet une évaluation des signaux relatifs aux ondes sonores émises par les structures pour:

- l'identification des signatures permettant de distinguer les éléments détachés, de ceux desserrés, des corps étrangers,
- la localisation de l'origine physique des signaux,
- l'estimation de la masse du corps errant.

Il est recommandé qu'il soit possible de représenter, sous forme graphique, en fonction du temps, les signaux issus des enregistrements individuels des voies séparées, pour chaque voie suivant un même axe de temps. A des fins d'analyse des événements, il convient que les affichages graphiques des signaux relatifs aux ondes sonores émises par les structures présentent au moins les fonctions suivantes: choix de la voie de référence, marquage de l'instant de début du transitoire sur les autres voies et calcul de la différence de temps d'arrivée par rapport à la voie de référence, spectre de distribution de puissance, avec le cas échéant, possibilité de choisir la période temporelle pour l'ensemble des signaux, calcul de la valeur efficace, localisation des composants dans des volumes cylindriques ou sphériques. La localisation peut être faite linéairement par la méthode d'intersection des hyperboles ou par la méthode de Newton, manuellement ou numériquement (voir Figures A.4b) et A.5b) de l'Annexe A).

Il est recommandé de pouvoir rejouer ultérieurement au niveau acoustique les transitoires enregistrés. Il convient de choisir une méthode qui permette de compléter les signaux du transitoire enregistré par un bruit de fond et de pouvoir le rejouer à l'aide de dispositif ad hoc.

### 5.5 Surveillance des signaux

#### 5.5.1 Généralités

La surveillance des signaux doit permettre de:

- détecter les transitoires associés ou dus aux interférences électriques,
- distinguer et éliminer ces transitoires dus aux interférences électriques ou associés aux évènements acoustiques liés au fonctionnement d'exploitation (par exemple mouvement des commandes de grappes, mouvement de vanne),
- déclencher une alarme pour chaque voie séparée, jusqu'à acquittement de celle-ci,
- lancer automatiquement l'enregistrement des sorties ou le stockage des signaux liés à l'évènement.

#### 5.5.2 Moniteur de niveaux d'alarme

La déclenchement des alarmes est réalisé par une unité qui produit un signal de sortie tout ou rien lorsque le signal surveillé dépasse un seuil d'alarme.

Le signal surveillé est par exemple,

- le signal de sortie du filtre passe-bande, ou
- un paramètre correspondant à une mise en forme adaptée de ce signal (par exemple la moyenne sur un intervalle de temps court de la valeur efficace avec un temps d'intégration de quelques millisecondes), ou
- un autre signal (différent de la moyenne de la valeur efficace sur un intervalle de temps court) qui permet de détecter les transitoires. Dans ce cas la relation entre ce paramètre et la valeur efficace doit être connue de façon à remplir les conditions de 6.3.

Chaque voie doit être équipée de son propre moniteur de niveaux d'alarme. On doit pouvoir faire varier les niveaux d'alarme et lire les paramètres de réglage (voir 6.3). Le moniteur de niveaux d'alarme doit permettre de distinguer les variations d'amplitude intempestives (par exemple celles causées par des reprises électriques) des transitoires.

NOTE Un signal adapté pour la surveillance est la valeur efficace de la valeur du signal intégrée sur environ 5 ms.

Pour une surveillance analogique

$$X(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \int_{t-\tau}^t [x(u)]^2 \cdot du}$$

où

- $\tau$  est la constante de temps;
- $t$  est le temps;
- $x$  est le signal filtré passe-bande provenant du capteur acoustique;
- $u$  est la variable d'intégration;
- $X$  est la valeur efficace.

Pour une surveillance numérique

$$X(t) = \sqrt{\frac{1}{\tau} \sum_{i=0}^n \{ [x(i \cdot \Delta t)]^2 \cdot \Delta t \}}$$

où

$\tau$  est la constante de temps;

$t = i \cdot \Delta t$ , temps;

$\Delta t$  est l'intervalle d'échantillonnage;

$$n = \frac{\tau}{\Delta t} - 1;$$

$i$  est la variable numérique;

$X$  est la valeur efficace.

### 5.5.3 Élément logique

Un dispositif pour supprimer les fausses alarmes produites par des événements connus doit être mis en œuvre. La fonction de cet élément logique consiste à supprimer la production de fausses alarmes dues à des sources de bruit connues, ou à des combinaisons (ou des formes d'ondes) de transitoires physiquement impossibles dans les différentes voies. Il convient que les entrées des équipements de traitement d'alarme soient fournies par les bons matériels (par exemple les contrôleurs des mécanismes de grappes, les cellules de commande de vanne). Dans tous les cas, sa conception doit garantir que si un niveau d'alarme est dépassé en même temps qu'apparaissent des événements acoustiques élémentaires liés à l'exploitation, aucune alarme ne sera produite.

En cas d'enregistrement du signal d'un transitoire, l'élément logique relie, les sorties des moniteurs de niveaux d'alarme, les signaux binaires et les résultats d'évaluation interne de façon à ce que:

- des événements acoustiques élémentaires liés au fonctionnement d'exploitation (par exemple au mouvement de grappes, au fonctionnement des vannes) et des événements acoustiques élémentaires (par exemple processus d'ébullition) liés au type particulier de l'installation ne produisent pas d'alarme ou d'enregistrement,
- et des événements connus pour leur non-pertinence (par exemple clapet battant) ne produisent pas d'alarme.

L'élément logique peut être réalisé par: la liaison logique de la sortie du moniteur de niveaux d'alarme aux signaux binaires (par exemple mouvement des commandes de grappes), la liaison logique de la sortie de déclenchement aux résultats d'évaluation interne et à l'inhibition de la voie d'alarme élémentaire (voir 3.13).

En cas d'enregistrement des signaux en continu, une coïncidence est détectée lorsque des transitoires surviennent sur au moins 2 voies de la même zone à surveiller en moins de généralement 5 ms. Il convient de prévoir un traitement logique pour inhiber les alarmes multiples qui pourraient être produites par des alarmes coïncidentes au-delà des 5 ms sur différentes voies et qui seraient liées au même événement initiateur. Si dans un intervalle de temps le nombre de coïncidences dépassent un nombre fixé une alarme est produite. Le nombre généralement fixé peut être de 6 coïncidences en 30 s.

Le signal de sortie tout ou rien du moniteur de niveaux d'alarme traversant l'élément logique doit attaquer l'unité d'alarme interne et via une interface, l'unité d'alarme externe. Il doit déclencher l'enregistrement ou le stockage des données.

## 5.6 Etalonnage

### 5.6.1 Généralités

Si du matériel est installé pour l'étalonnage en ligne alors ce matériel doit être capable de:

- vérifier que la voie de traitement du signal est correctement réglée,
- vérifier que les capteurs acoustiques sont sensibles aux impacts et sont bien liés à la structure comme au reste de la voie de mesure,

- faire une estimation de la réponse d'ensemble de la voie à des simulations d'impact connues.

Il est recommandé que le matériel d'étalonnage comprenne au moins:

- une unité d'étalonnage électrique pour l'essai par voie de traitement du signal à partir de l'unité de pré-amplification,
- une unité d'étalonnage électrique pour l'essai par voie de traitement du signal à partir de l'unité de traitement du signal,
- une unité d'essai par impact pour tester l'ensemble du système à partir d'impacts simulés reproductibles.

Tranche en exploitation, on peut surveiller les capteurs et la chaîne de mesure par le biais de la valeur efficace du signal mesuré en l'encadrant entre deux seuils haut et bas.

### 5.6.2 Unité d'essai fonctionnel mécanique

La maintenance et l'étalonnage des capteurs peuvent être faits en produisant des séries d'impacts, en utilisant une unité d'impact ou un marteau manuel pour déclencher les alarmes du système de détection des corps errants (voir 7.5.4).

### 5.6.3 Unité d'étalonnage électrique

L'unité d'étalonnage électrique doit être conçue pour pouvoir étalonner les signaux des voies à n'importe quel instant. Pour cela on recommande l'utilisation de matériel fixe. L'unité d'étalonnage peut être un générateur d'ondes sinusoïdales. L'unité d'étalonnage électrique doit satisfaire aux exigences suivantes:

- La fréquence du signal d'étalonnage doit être ajustable par rapport à la bande passante du filtre passe-bande.
- L'amplitude du signal d'étalonnage doit être ajustable. On doit pouvoir couvrir toute l'échelle.
- L'incertitude de mesure du signal d'étalonnage doit être de  $\pm 5\%$  avec  $U_{cal} > 0,5 V_{peak}$ .
- Il doit être possible de vérifier les paramètres de configuration des niveaux d'alarme.
- Si l'étalonnage est réalisé tranche en fonctionnement, les fonctions de surveillance des autres voies doivent continuer à fonctionner durant l'étalonnage de la voie choisie.

## 6 Démarrage initial et fonctionnement

### 6.1 Essai du système avant le démarrage initial des pompes primaires

Les capteurs acoustiques montés et tous les câbles de liaison doivent être autant que possible vérifiés visuellement. Les fonctions de toutes les voies du système doivent être vérifiées. Le niveau d'amplification doit être ajusté à la sensibilité de chaque capteur de façon à ce que toutes les voies présentent une sensibilité nominale équivalente.

Si des fonctions d'étalonnage et d'essai d'impact sont utilisées, alors que le circuit de refroidissement primaire est plein, il convient de soumettre l'enveloppe du circuit à des chocs mécaniques (impacts d'essai d'énergie connue). Ceci permet de vérifier les conditions de propagation des ondes sonores, le comportement d'ensemble des capteurs et de leurs fonctionnalités ainsi que des préamplificateurs. L'énergie des chocs doit être telle que la valeur de crête du transitoire vue par le capteur acoustique placé à côté du point d'impact, atteigne au moins 50 % de la gamme de volume choisie.

Les signaux des capteurs acoustiques détectant des transitoires lors de l'essai d'impact doivent être enregistrés de façon synchrone.

Les éléments suivants doivent être documentés:

- résultats de l'inspection visuelle de l'installation,
- résultats des essais des fonctions électriques,
- configuration des préamplificateurs,
- mode de production des chocs mécaniques,
- énergie des chocs mécaniques,
- position des capteurs acoustiques,
- emplacements des points d'impact,
- signaux des capteurs acoustiques.

Concernant les essais fonctionnels à réaliser ultérieurement, tranche en exploitation, des essais d'impact complémentaires doivent être réalisés en d'autres endroits accessibles durant les arrêts de tranche (voir 7.5.4).

## 6.2 Surveillance préliminaire sans niveaux d'alarme

La surveillance du circuit de refroidissement primaire en vue de la détection de corps errants doit être assurée à partir du démarrage initial des pompes primaires. A ce niveau aucune information concernant le bruit de fond caractéristique de l'installation n'est disponible et les paramètres nécessaires pour configurer les niveaux d'alarme ne sont donc pas forcément connus. La surveillance est donc faite par le personnel d'exploitation qui écoute plus particulièrement les signaux individuels au moyen des unités audio.

Les bruits de fonds doivent donc être enregistrés pour des états de tranche choisis, par exemple à différents niveaux de pression, de façon à faire des comparaisons avec des valeurs empiriques obtenues sur d'autres réacteurs. Ces états de tranche et le bruit de fond enregistré doivent faire l'objet de documentation appropriée.

## 6.3 Adaptation du système aux exigences de la centrale

Lorsque l'état de tranche pour lequel le réacteur doit être surveillé a été atteint, le système doit être ajusté pour satisfaire aux exigences de la centrale: la paramétrisation des moniteurs de niveaux d'alarme, et si nécessaire, de filtres coupe-bande, (voir note de 5.3.2) est réalisée.

L'enregistrement intermittent ou l'enregistrement en continu des signaux peut être choisi.

a) Dans le cas de l'enregistrement intermittent des signaux:

Un intervalle de temps avant déclenchement de 15 % à 35 % de l'intervalle de temps de l'enregistrement est recommandé.

Si le signal surveillé dépasse de 5 fois la valeur correspondant au bruit de fond, le moniteur de niveaux d'alarme doit produire un message d'alarme (voir 5.5.2). Des réglages plus sensibles peuvent être admis. Les réglages pour les voies de signal individuelles peuvent varier. Si le bruit de fond évolue durant l'exploitation, il convient de pouvoir changer les réglages des niveaux d'alarme (voir 7.5 et l'Article 8). Le signal surveillé (par exemple la valeur efficace  $\tau = 5$  ms) et la valeur déduite à partir du bruit de fond (par exemple la valeur efficace  $\tau = 1$  s) doivent être obtenus par la même méthode.

NOTE La limitation des valeurs dynamiques par un suivi ou un ajustement automatique des gains est recommandée. Dans ce cas le facteur d'amplification et le comportement par rapport au temps du signal surveillé doivent être choisis pour que les critères précédents soient au moins satisfaits.

Dans le cas d'utilisation de moniteurs de niveaux d'alarme informatisés, une valeur minimale peut être choisie au niveau des paramètres pour les automatismes d'alarme pour supprimer les alarmes intempestives. Pour cette valeur minimale, il est recommandé de la choisir dans une gamme variant de 0,5 % à 5 % de l'échelle complète. Pour les moniteurs de niveaux d'alarme analogiques, il convient que la valeur efficace correspondant au bruit de fond stationnaire soit comprise entre 5 % et 15 % du volume.

En plus du réglage du gain, cette valeur peut être aussi influencée, dans une certaine limite, par le réglage des filtres passe-bande. Ceci assure que le niveau d'alarme est suffisamment bas (par exemple 5 fois la valeur efficace correspondant au bruit de fond stationnaire), à savoir qu'une gamme dynamique appropriée est disponible pour l'enregistrement des transitoires.

Les éléments suivants doivent être documentés:

- réglage des filtres coupe-bande,
- réglage de l'intervalle de temps avant déclenchement,
- réglage des moniteurs de niveaux d'alarme, y compris du niveau amplification, et
- le bruit de fond après réglage des filtres coupe-bande.

b) Dans le cas d'un enregistrement continu des signaux, il convient de garder un ensemble de référence des enregistrements du bruit de fond. Il convient d'avoir à disposition sur l'installation certains enregistrements d'évènements acoustiques élémentaires et de bruit de fond stationnaire pour pouvoir les réécouter.

## 7 Programme de surveillance

### 7.1 Généralités

On distingue deux phases dans le programme de surveillance:

- surveillance préliminaire (phase transitoire), et
- surveillance (phase d'état stabilisé).

Les pré-conditions pour le démarrage de la surveillance sont:

- a) la fin du démarrage du système de surveillance des corps errants,
- b) la fin de l'essai du système électrique durant les arrêts de tranche (voir 7.5.3).

### 7.2 Enregistrements de référence

Plusieurs enregistrements de référence sont nécessaires pour évaluer les signaux associés à une onde sonore réelle et pour interpréter tout écart. Il y a deux types d'enregistrements: les références enregistrées réacteur à l'arrêt (pour les essais d'impact, voir 7.5.4), les enregistrements de référence correspondant au fonctionnement de tranche en état stabilisé (bruit d'exploitation).

Les références d'enregistrement tranche en fonctionnement stabilisé sont à la base de l'interprétation des écarts observés sur les signaux associés aux ondes sonores.

Pour l'enregistrement des transitoires, il convient de réaliser des références d'enregistrement pour:

- les événements acoustiques associés à l'exploitation,
- les essais d'impact,
- le bruit de fond,
- les changements de propriétés du système connus et documentés.

Les étapes suivantes doivent être réalisées pour ce qui concerne les enregistrements tranche en fonctionnement stabilisé: documentation de la valeur efficace des signaux de toutes les voies actives, enregistrement des signaux de toutes les voies avec une gamme dynamique d'au moins 50 dB et un écart d'erreur d'amplitude maximum autorisé de  $\pm 5\%$ , ainsi que la réalisation d'un enregistrement pour chaque unité dédiée au stockage numérique.

Pour l'enregistrement en continu des signaux, il convient d'avoir à disposition les signaux de référence pour que les experts établissent leur diagnostic, sur site ou de façon déportée. Les enregistrements peuvent être réalisés dès qu'un évènement acoustique apparaît. Il est utile de déterminer le spectre de fréquence et les distributions d'amplitudes de l'enregistrement du signal et de réaliser une évaluation du transitoire (voir Annexe D).

Suite aux périodes d'arrêt prolongé (par exemple lors des rechargements), on doit réaliser des enregistrements de référence après redémarrage de la tranche.

NOTE Pour les réacteurs bouillants, il est utile d'enregistrer plusieurs conditions de référence à chaque fois, du fait de la relation liant la puissance au bruit de fond (vitesse de pompe).

### **7.3 Mesures en exploitation**

#### **7.3.1 Surveillance préliminaire**

Dans cette norme la surveillance préliminaire correspond à l'intervalle de temps séparant le démarrage des pompes primaires de l'atteinte de l'état stabilisé fonctionnement en puissance.

Le démarrage des pompes primaires doit être surveillé à l'écoute.

Le personnel d'exploitation doit écouter toutes les voies surveillées à des intervalles de temps déterminés et réguliers, (par exemple une fois pour chaque équipe de conduite et jusqu'à 3 fois par semaine). Si des écarts significatifs sont repérés par rapport au profil de bruit, ces constatations subjectives doivent être enregistrées, et évaluées pour tous les signaux des voies.

A la fin de la phase de réchauffage, il convient d'effectuer la surveillance préliminaire avec des niveaux d'alarme préliminaires. On peut utiliser les paramètres de réglage relatifs au fonctionnement en puissance du dernier cycle. Si ce jeu de paramètres entraîne l'affichage de trop de messages d'alarmes, les niveaux d'alarme peuvent être ajustés après avoir clarifié l'origine des causes d'alarme (par exemple modification des bruits de fond). Ceci est aussi valable pour la phase de mesure en fonctionnement si un nombre d'alarmes important est à prévoir.

Si possible ces opérations peuvent être faites en automatique.

#### **7.3.2 Surveillance**

La surveillance est assurée à partir de l'atteinte de l'état stabilisé fonctionnement en puissance jusqu'à la fin du fonctionnement en puissance.

Au cours de la surveillance, tout dépassement des niveaux d'alarme doit être automatiquement indiqué. A ce propos, le réglage des niveaux d'alarme doit être réalisé conformément à 6.3. La surveillance doit être complétée par une écoute régulière des signaux individuels.

Le personnel d'exploitation doit écouter les signaux de toutes les voies surveillées à des intervalles déterminés et réguliers, en particulier pour l'installation (par exemple une fois par équipe de conduite et jusqu'à 3 fois par semaine). Les résultats doivent être archivés. En cas d'enregistrement des transitoires, les enregistrements des signaux doivent être faits à intervalles réguliers (par exemple une fois tous les trois mois).

L'analyse des résultats est faite par comparaisons objective et subjective des signaux réels fournis par les capteurs acoustiques ou de leurs paramètres avec les signaux ou les paramètres qui ont été enregistrés comme données de référence. Si des écarts significatifs par rapport aux profils de bruit sont repérés, ces constatations subjectives doivent être enregistrées, et évaluées pour les signaux de toutes les voies. On doit décider s'il convient de faire un enregistrement de référence.

#### 7.4 Actions consécutives à une alarme

Dans le cadre d'une évaluation immédiate, les informations suivantes doivent être à minima disponibles:

- identification de l'alarme envoyée en salle de commande,
- nombre de voies pour lesquelles le seuil d'alarme a été dépassé,
- durée et fréquence de franchissement du seuil d'alarme, et
- état du système: en marche, en panne ou à l'arrêt.

Suite à une alarme les actions suivantes doivent être réalisées:

- écouter les signaux sur toutes les voies,
- déterminer si et où de nouvelles alarmes sont apparues,
- enregistrer les voies sur lesquelles les unités d'alarme interne ont été sollicitées,
- acquitter les alarmes,
- enregistrer les paramètres de fonctionnement dépendant du temps qui ont été sélectionnés et le mode d'exploitation du réacteur associé (par exemple fonctionnement d'une vanne de régulation principale),
- enregistrer les signaux de toutes les voies si une alarme est à nouveau présente ou s'il y a une évolution significative du profil de bruit au cours de l'écoute. Les constatations subjectives doivent être archivées,
- évaluer les enregistrements (voir Annexe D) et analyser les résultats. Dans ce cas, une étude des paramètres afin de définir des paramètres opérationnels pour le futur peut être utile.

NOTE Dans le cas de la surveillance préliminaire, faire une vérification du niveau d'alarme conformément à 7.3.1. Il est recommandé de faire un enregistrement et un stockage automatique des paramètres de fonctionnement choisis en même temps que des données relatives à l'évènement.

Ces actions doivent être organisées pour déterminer si une alarme liée à la présence d'un corps errant peut être prise en compte et traitée avant qu'il y ait des dommages.

Il convient que des actions complémentaires soient réalisées suivant l'évaluation faite et en prenant en compte les spécificités de l'installation.

#### 7.5 Essais périodiques du système

##### 7.5.1 Généralités

Des essais doivent être réalisés à intervalles réguliers. Il y a trois types d'essais: essais fonctionnels, essais du système électrique, essais d'impact.

##### 7.5.2 Essais fonctionnels

Les essais fonctionnels prennent la forme de vérifications qualitatives pour montrer le caractère opérationnel du système de surveillance en enregistrant et en évaluant les bruits de fond. La surveillance des capteurs et des chaînes de mesure peut être réalisée par un suivi de la valeur efficace du signal mesuré en employant des seuils haut et bas.

### 7.5.3 Essais du système électrique

Il y a des essais du système électrique différents pour chaque état: arrêt du réacteur, réacteur en fonctionnement.

Durant l'arrêt du réacteur, un essai électrique des composants du système doit être réalisé pour amener la preuve que le système présente toujours les caractéristiques fonctionnelles spécifiées à partir des entrées. Il convient que la chaîne de mesure soit vérifiée, des capteurs acoustiques à l'entrée du préamplificateur.

Durant le fonctionnement du réacteur, si la fonction d'étalonnage est utilisée, on doit réaliser un essai de la partie électrique du système à partir des entrées du préamplificateur. Un étalonnage des voies doit être réalisé à intervalles réguliers tous les trois mois à l'aide de l'unité d'étalonnage électrique décrite en 5.6.3 comme suit:

- pour chaque voie un signal d'essai doit être défini. Une valeur nominale doit être spécifiée pour chaque voie en tenant compte de l'étagage d'amplification pour le suivi, et comparée à la valeur réelle d'affichage et d'enregistrement. Les écarts par rapport à la valeur nominale doivent être compris entre  $\pm 10\%$ ,
- pour chaque voie, un signal d'étalonnage (valeur stationnaire pour un niveau d'alarme fixé et échelon pour dépasser le niveau d'alarme) doit être défini pour que tous les niveaux d'alarme soient sollicités indépendamment. L'amplitude de l'étalonnage doit être choisie pour que le signal surveillé (voir 5.5.2) ne dépasse pas de plus de 20 % les niveaux d'alarme. Les amplitudes du signal d'étalonnage et les paramètres de réglage des moniteurs de niveaux d'alarme doivent être enregistrés.

Si les écarts ne peuvent être éliminés, les caractéristiques fonctionnelles des voies doivent être évaluées et documentées en conséquence.

Si on réalise la surveillance par le suivi de la valeur efficace du signal mesuré avec des seuils haut et bas, ces essais fonctionnels peuvent aussi être utilisés pour montrer que le système fonctionne au lieu de réaliser les essais électriques décrits ci-dessus lorsque la tranche est en exploitation.

### 7.5.4 Essais d'impact

a) Si les fonctions d'étalonnage et les essais d'impact sont utilisés (voir 5.6.1 et 5.6.2):

Le caractère opérationnel du système dans son ensemble, y compris les capteurs acoustiques et la liaison de signalisation vers les préamplificateurs, est complètement démontré par les essais d'impact. De plus, ils fournissent des références de comparaison pour l'évaluation des événements acoustiques élémentaires survenant en exploitation (voir 7.2). Les essais d'impact doivent être réalisés avant le démarrage initial des pompes primaires (voir 6.2) et avant le redémarrage du réacteur suivant un rechargement. Il est recommandé qu'à ce moment-là, le couvercle soit hermétiquement fermé et que le circuit primaire soit rempli. Pour les réacteurs à eau pressurisée, suite au rechargement, on doit réaliser les essais d'impact avant le démarrage des pompes primaires.

Les essais d'impact doivent être réalisés en des points d'impact définis. On doit choisir les points d'impact et l'énergie des essais d'impact par rapport aux paramètres d'ajustement des moniteurs de niveaux d'alarme du système de surveillance des corps errants pour qu'au moins un moniteur de niveaux d'alarme soit déclenché par zone à surveiller. Les signaux acoustiques doivent être stockés de façon synchrone lors de la réalisation des essais d'impact.

Concernant les impacts, les éléments suivants doivent être documentés: le mode de production des impacts mécaniques, les données concernant l'estimation de l'énergie d'impact (par exemple la tension ajustable, masse et forme du marteau), l'emplacement des points d'impact, les signaux des capteurs acoustiques (enregistrés pendant suffisamment de temps et d'amplitude de résolution pour déterminer les formes de transitoire et les différences de temps d'arrivée).

Les données des essais d'impact, en particulier, les données concernant l'estimation de l'énergie d'impact et les emplacements d'impact, doivent être conservées après cela, autant que possible.

b) Si la surveillance des capteurs est réalisée en utilisant des seuils haut et bas pour la valeur efficace du signal mesuré (voir 5.6.1 et 7.5.2), il convient que la maintenance périodique et l'étalonnage des capteurs soient faits pendant les arrêts de tranche. Pour essayer la fonction d'alarme, on peut utiliser un marteau manuel pour produire la série d'impacts.

## 8 Documentation

Des rapports d'essais doivent être produits conformément à l'Article 7 afin d'enregistrer tous les essais réalisés. Dans les rapports d'essai la CEI 60988 doit être référencée comme la base des essais.

Les données les plus importantes doivent être documentées de la façon suivante:

- description système du système de surveillance des corps errants (y compris le manuel utilisateur),
- informations portant sur la disposition physique et sur les données techniques du système (par exemple capteurs acoustiques, préamplificateurs, chemins de câbles, unités de traitement du signal, unité d'étalonnage, unité numérique, version du logiciel à jour, stockage des signaux),
- données de réglage du système mises à jour (amplificateurs, filtres passe-bande, moniteurs de niveaux d'alarme),
- informations portant sur le montage des capteurs acoustiques, informations portant sur les modifications apportées au matériel et au logiciel,
- enregistrements, rapports et données relatifs au démarrage initial (voir Article 6),
- enregistrements, rapports et données relatifs à la surveillance (voir Article 7).

## Annexe A (informative)

### Description portant sur la détection des corps errants avec des tracés d'enregistrements acoustiques classiques

Lorsqu'un élément détaché ou desserré heurte la surface interne du circuit primaire d'un réacteur ou les structures internes de celui-ci, il y a transfert d'énergie aux parois. Toute partie métallique ou composant mécanique transporté par le débit d'eau peut endommager la surface interne du circuit primaire. Des événements acoustiques élémentaires se produisent alors et ceux-ci se propagent en une onde sonore émise par la structure le long des structures du circuit primaire du réacteur. La détection des corps errants s'intéresse donc à la mesure de l'onde sonore émise par la structure.

L'onde sonore émise par la structure est détectée par les capteurs acoustiques montés sur la surface externe du circuit primaire du réacteur. Dans cette norme on suppose que des accéléromètres sont utilisés comme capteurs acoustiques. Les capteurs acoustiques convertissent l'onde sonore émise par la structure en un transitoire correspondant à une composante du signal électrique.

En plus de cela, un bruit de fond est produit par le flux de réfrigérant primaire et les pompes, ainsi que par d'autres composants montés sur ou à l'intérieur du circuit primaire et qui sont actifs en exploitation (par exemple des vannes ou les mécanismes de commande de grappes). Ceci compose le bruit de fond stationnaire (voir la Figure A.1a) et les événements acoustiques élémentaires liés à l'exploitation du réacteur à eau pressurisée (voir Figure A.2). La Figure A.1b montre les signaux correspondant au bruit de fond stationnaire (avec des résonances fluides) dans un réacteur bouillant. Les principaux objectifs du système sont de détecter les corps errants et d'indiquer l'emplacement du corps errant pour que l'on soit capable de le retirer du réacteur à l'arrêt.

La Figure A.3 présente les signaux correspondant à un transitoire relatif à l'impact produit par une partie détachée. Les amplitudes des signaux de la Figure A.3 sont représentées avec différentes échelles pour mieux les voir. La forme des signaux de l'essai d'impact et les résultats associés pour sa localisation sont présentés par la Figure A.4 pour un réacteur bouillant et par la Figure A.5 pour un réacteur à eau pressurisé.

Le principe de détection est basé sur l'acquisition des transitoires produits par les impacts sur les parois. Le système de détection doit en les filtrant, séparer les transitoires produits par les corps errants du bruit produit par le fonctionnement normal du circuit (bruit important des pompes et du débit d'eau). Pour la détection des corps errants, le personnel d'exploitation écoute les signaux des capteurs acoustiques à intervalles de temps réguliers.

Des enregistrements de référence sont utilisés pour fixer les niveaux d'alarme pour les signaux surveillés. Par principe, une alarme est émise si un seuil d'alarme est dépassé. On peut déterminer la cause d'un événement acoustique élémentaire à l'aide de comparaisons avec des enregistrements de référence. Le critère utilisé pour distinguer une pièce détachée d'une pièce desserrée est la différence d'arrivée des transitoires liés à un événement acoustique élémentaire. L'analyse de plusieurs événements acoustiques élémentaires consécutifs présente une différence d'arrivée constante pour les pièces desserrées, tandis que pour les pièces détachées les différences d'arrivée peuvent varier. L'analyse des tendances d'évolution des signaux n'est pas en général suffisante pour déterminer les origines des transitoires. Dans ce cas, on doit se reporter à des informations d'exploitation supplémentaires.

L'expertise nécessaire pour établir le diagnostic peut être située sur site ou hors site dans un laboratoire spécialisé, suivant la réglementation en vigueur dans le pays. Si les experts doivent être sur site et si une alarme est émise du fait de la valeur de l'amplitude d'un transitoire et de la capture du transitoire par le système d'enregistrement intermittent, le système peut alors permettre de localiser les impacts sur l'enveloppe du circuit primaire et d'évaluer la masse du corps errant sur le site. La conception du système peut être différente

si le déclenchement de l'alarme repose sur l'enregistrement continu des signaux et le dépassement d'un seuil par le niveau de transitoire. Le système peut alors fournir des données stockées sur site pour une analyse à distance.

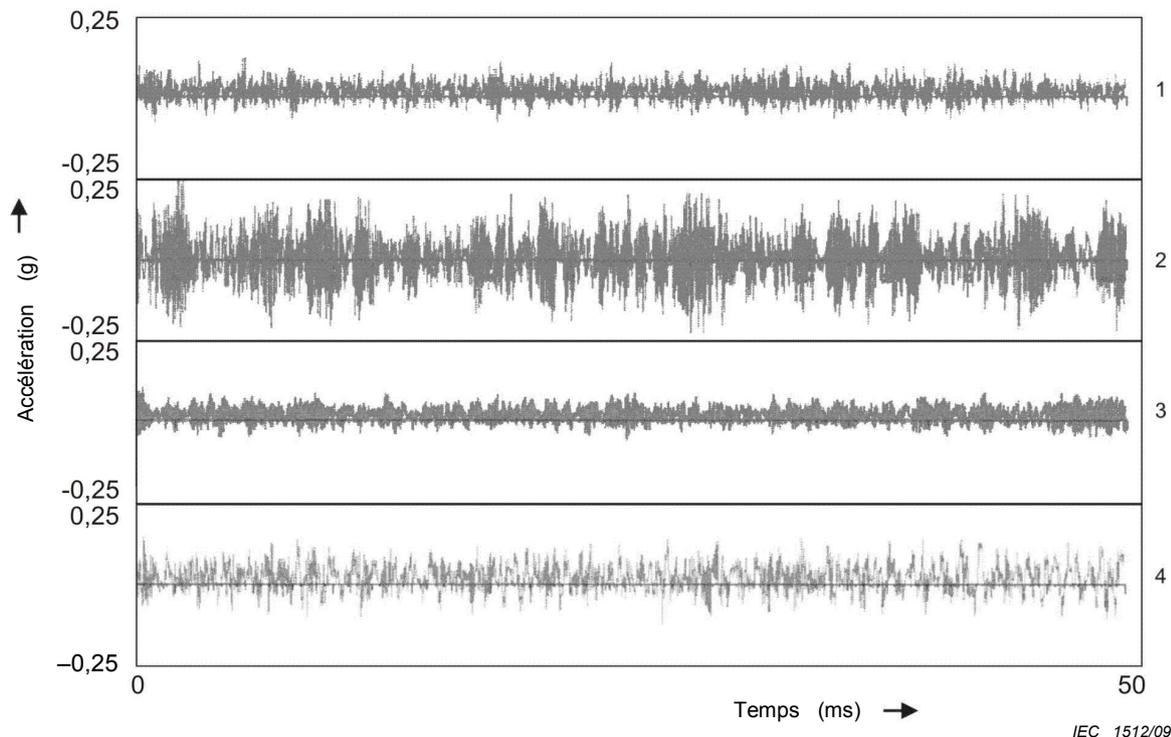


Figure A.1a – Signaux typiques du bruit de fond dans un réacteur à eau pressurisée

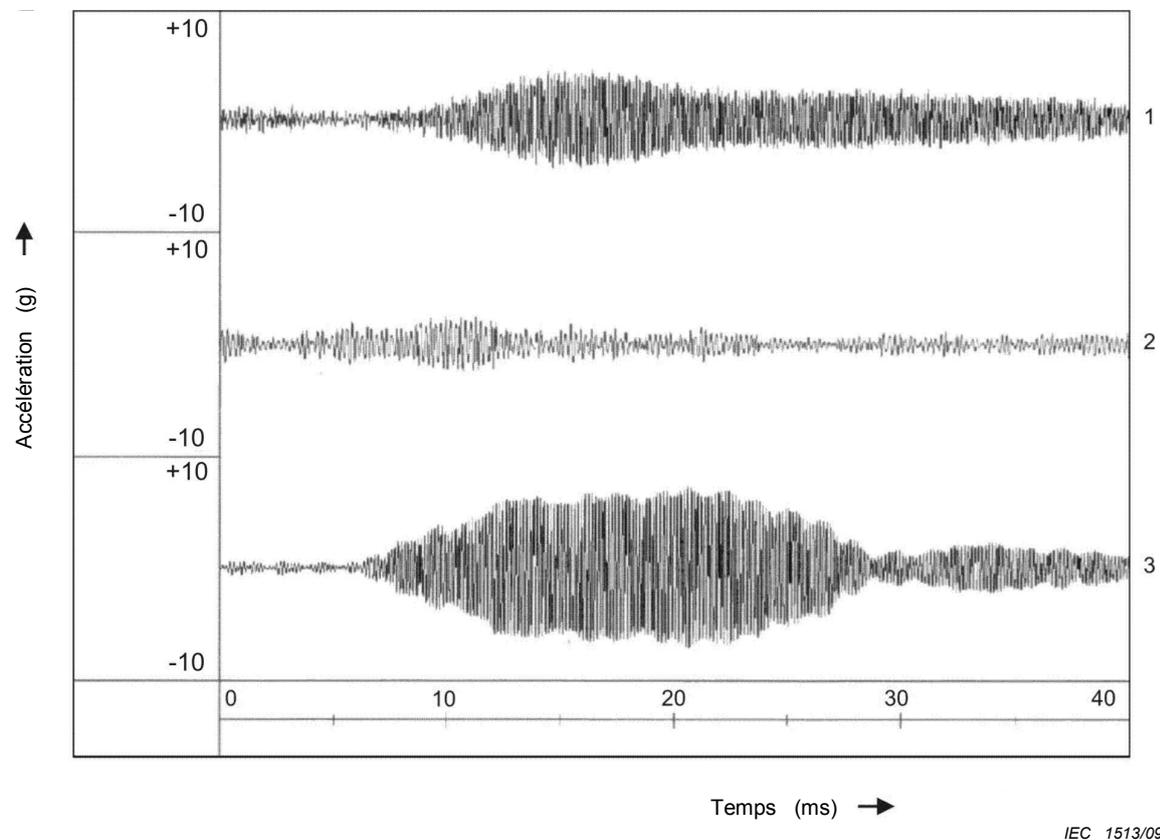


Figure A.1b – Signaux typiques du bruit de fond dans un réacteur bouillant

Figure A.1 – Signaux typiques

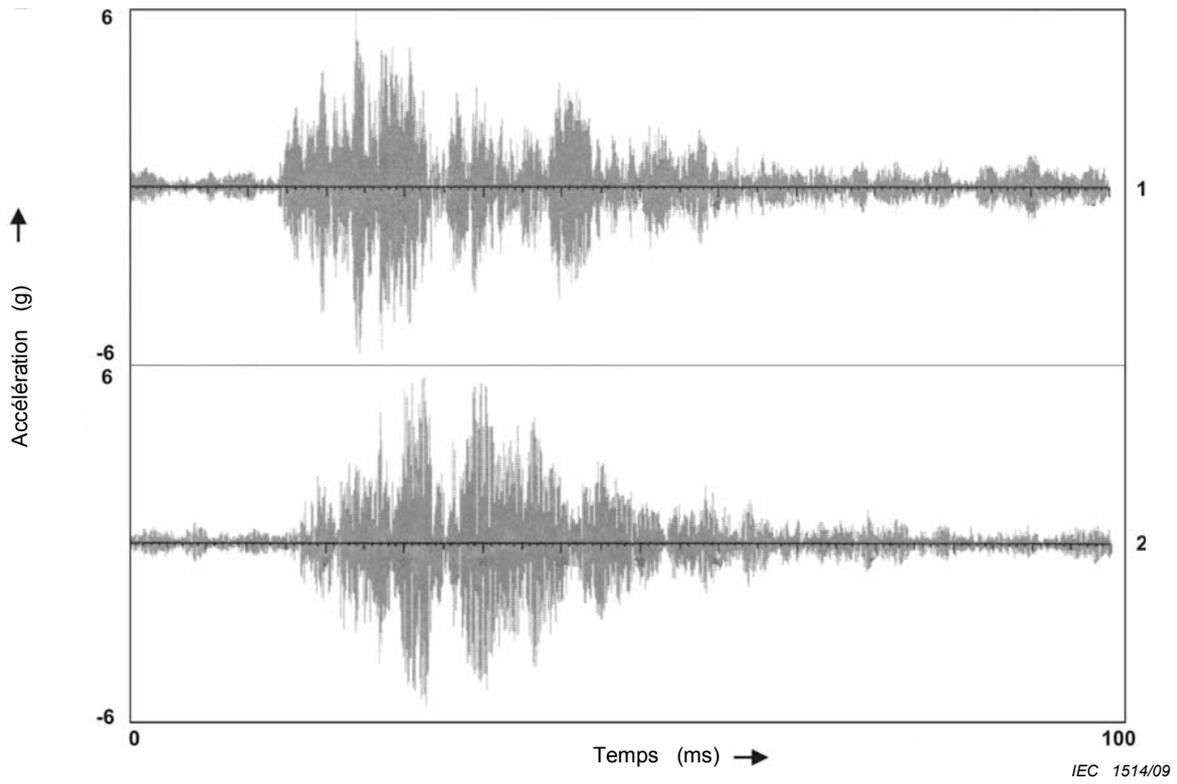


Figure A.2 – Signaux présentant un transitoire conséquence d'un évènement acoustique élémentaire lié à l'exploitation (commande de grappes)

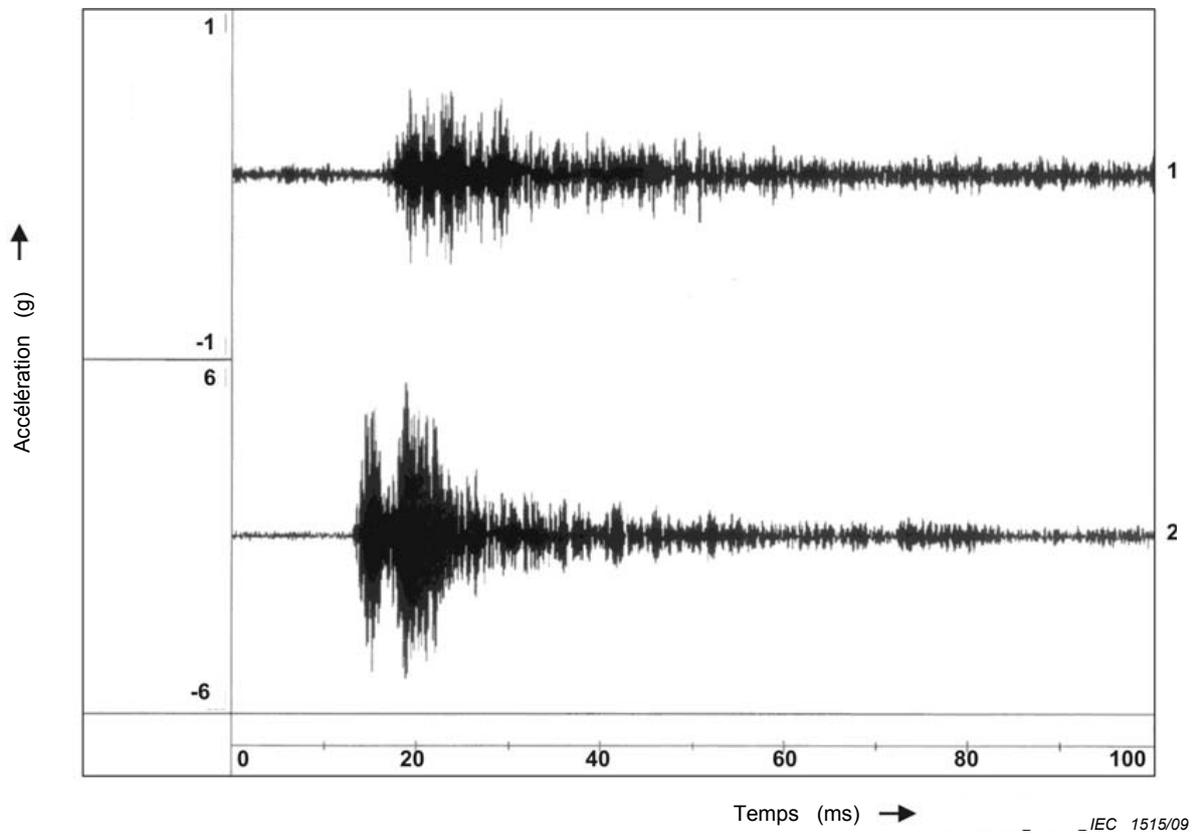


Figure A.3 – Signaux présentant un transitoire conséquence de l'impact d'un corps errant (broche de plaque supérieure de support du cœur)

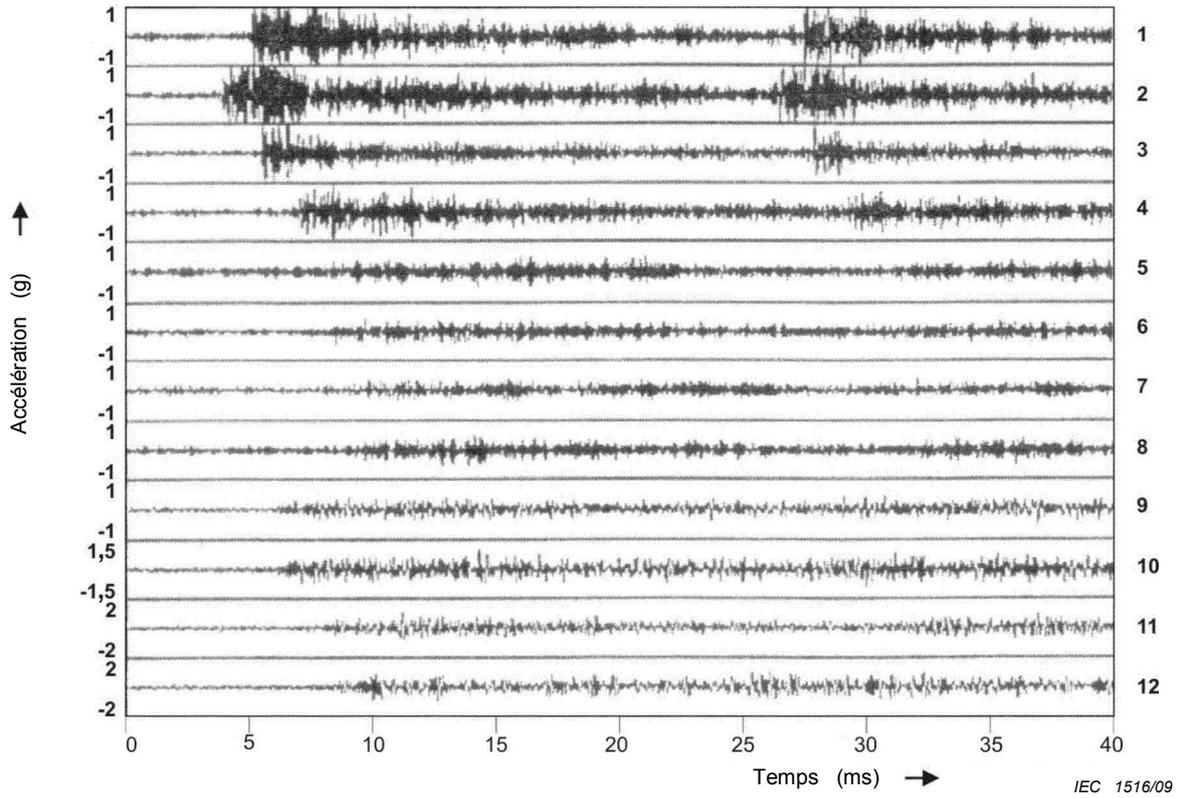


Figure A.4a – Signaux présentant des transitoires conséquence d'un essai d'impact sur un réacteur bouillant

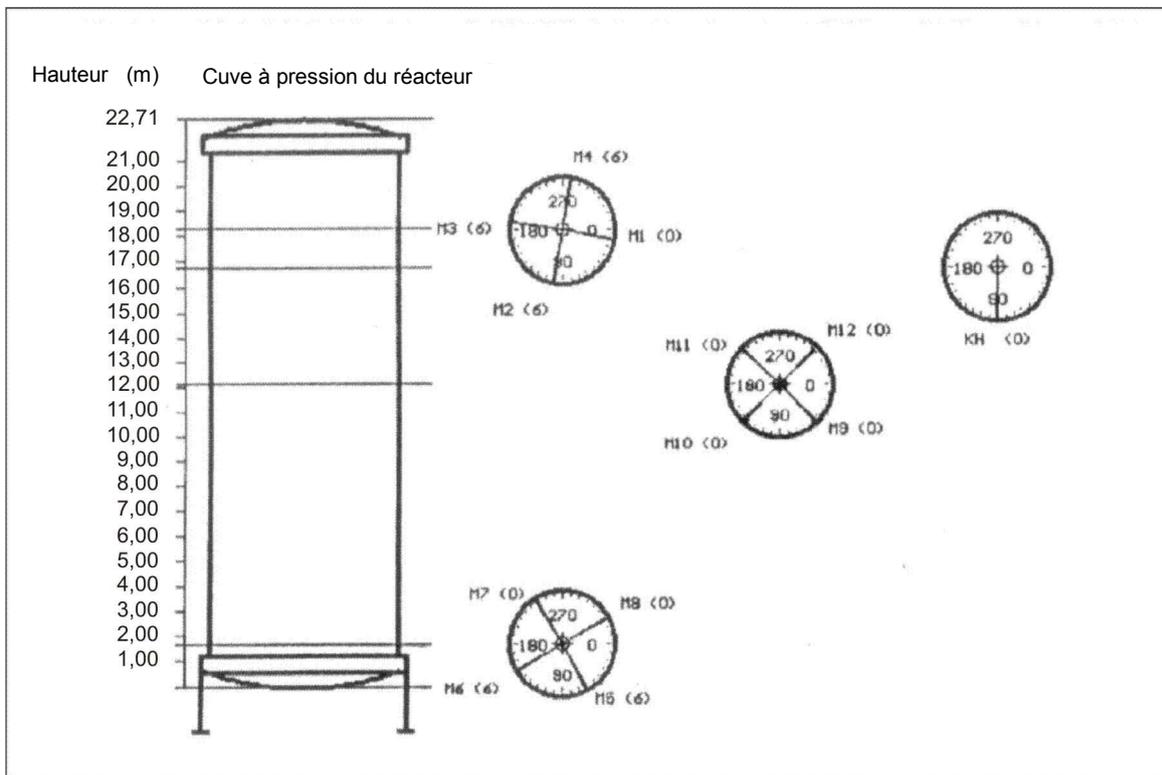
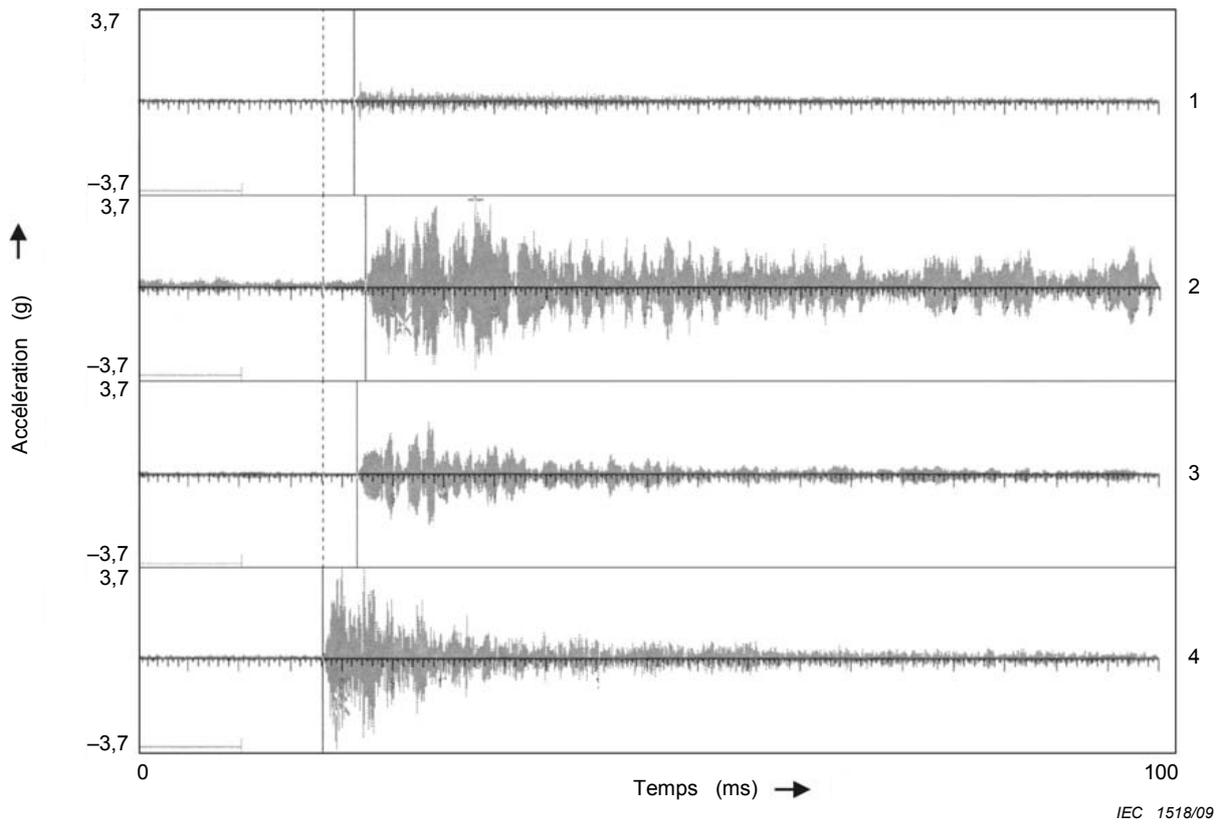
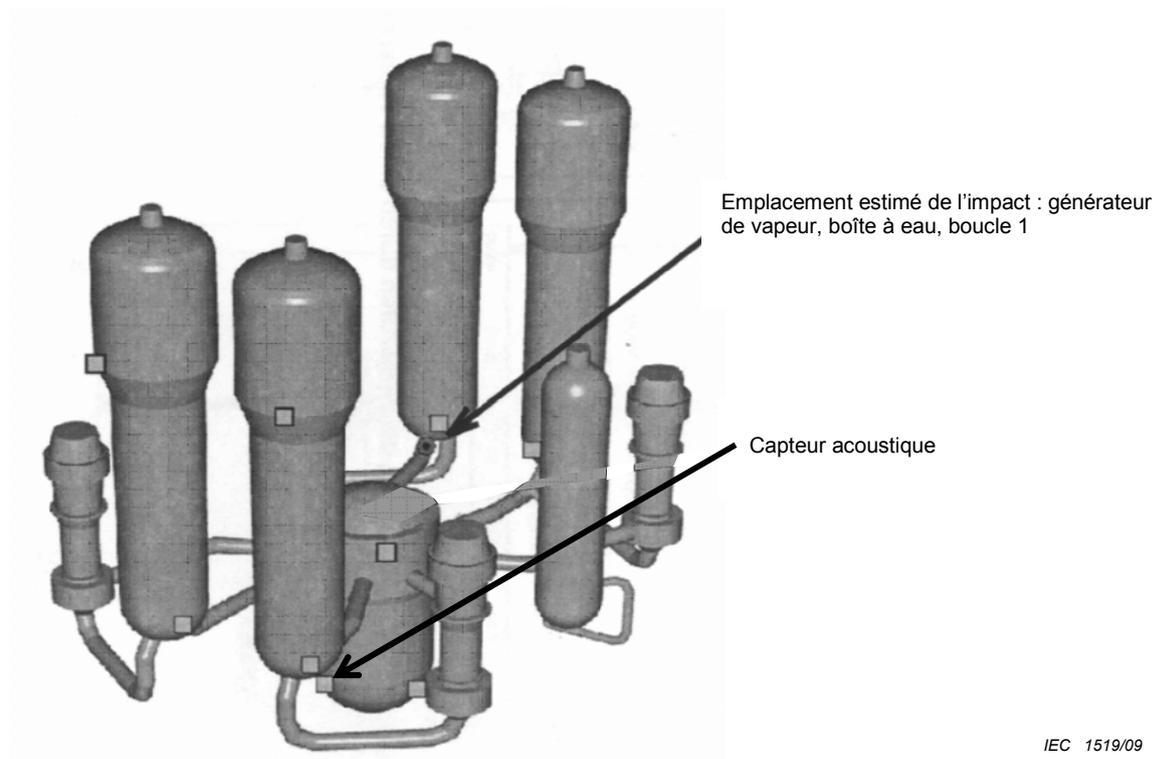


Figure A.4b – Emplacements sur un réacteur bouillant

Figure A.4 – Réacteur à eau bouillante



**Figure A.5a – Signaux présentant des transitoires conséquence d'un essai d'impact sur un réacteur à eau pressurisée**



**Figure A.5b – Emplacements sur un réacteur à eau pressurisée**

**Figure A.5 – Réacteur à eau pressurisée**

## **Annexe B** (informative)

### **Description des fonctions détaillées de chaque bloc du diagramme fonctionnel**

La Figure 1 (dans le corps de la norme) présente un système classique. Les signaux des capteurs acoustiques (1) passent à travers un préamplificateur bande large (2) et ressortent (4) pour subir des traitements supplémentaires; ces sorties sont réservées pour brancher des matériels externes. Concernant le traitement interne du signal, les composantes des signaux dues à des interférences (par exemple bruit des pompes, démarrage électrique) sont réduites grâce (3) à des filtres passe-bande et les signaux sont amplifiés (5). La surveillance des signaux est faite dans le moniteur de niveaux d'alarme (9), dans la logique (10), dans l'unité d'alarme interne (11) et dans une interface de branchement vers les unités d'alarme externes (12). Les signaux sont affichés au moyen d'indicateurs (6), un enregistreur multivoies ou une mémoire (7) et une unité audio (8). Les voies de signal peuvent être testées et étalonnées à l'aide d'une unité d'étalonnage (13). Le système de surveillance des corps errants peut être testé par le biais des essais d'impact. Le module (13) n'est pas nécessairement installé en permanence. La disposition des composants du système prend en compte les contraintes de faisabilité technique dans des emplacements accessibles.

La conception du système prend en compte la sensibilité des capteurs, et le gain de l'amplificateur ainsi que les caractéristiques de montage des capteurs. Les performances d'un montage sont difficilement prévisibles. Généralement, la conception du capteur et de l'amplificateur permet de faire coïncider une accélération de 30 g de la structure à l'emplacement du capteur dans la gamme de fonctionnement avec la valeur maximale de la sortie linéaire de l'amplificateur dont le gain est réglé au minimum. L'effet du montage peut être négligé si les résonances ne produisent pas d'effet multiplicatif incompatible avec la gamme de fonctionnement choisi (par exemple un facteur supérieur à 15).

Pour des facteurs multiplicatifs de résonance plus grands, la sensibilité de la chaîne de mesure doit être ajustée en conséquence.

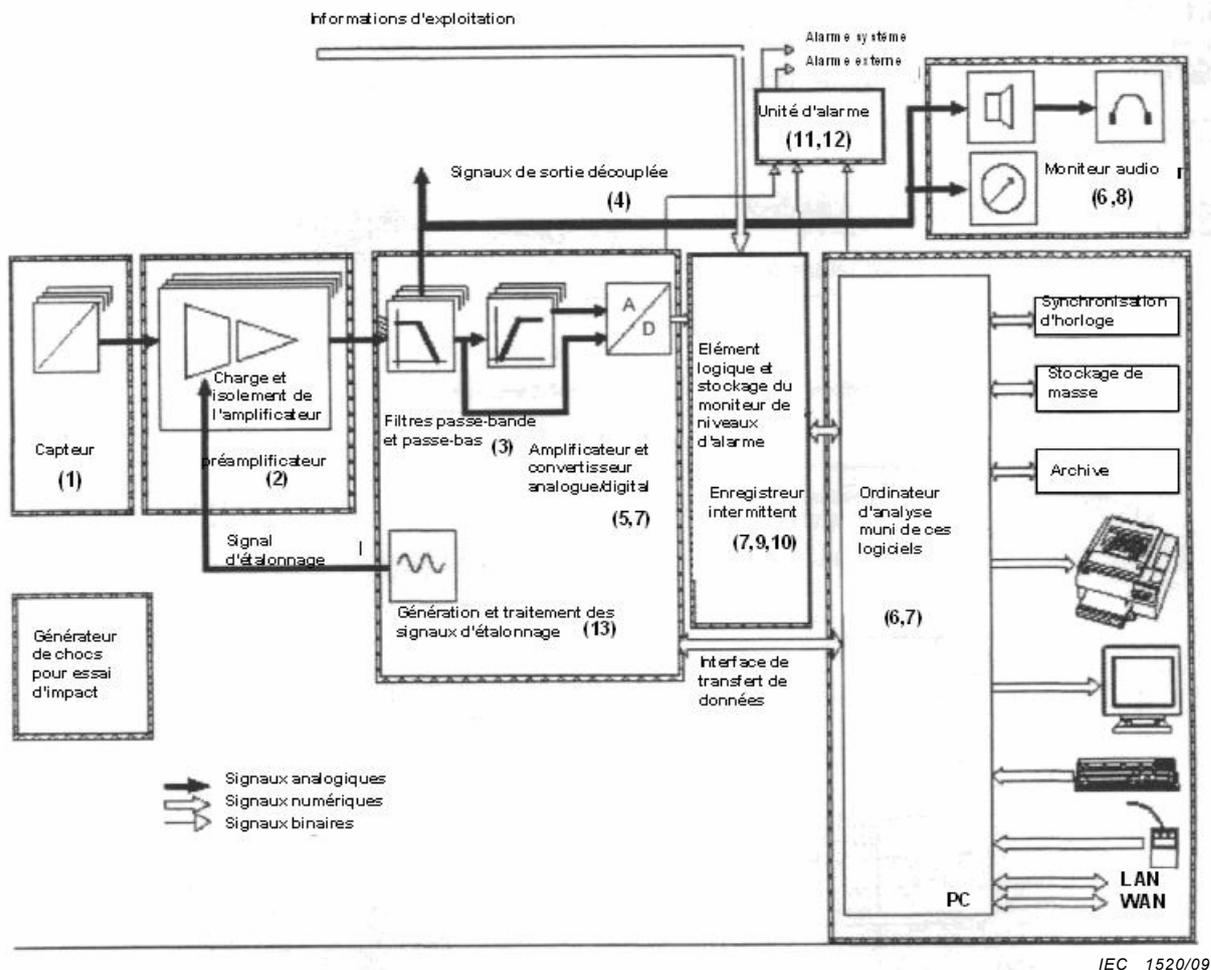
Si la fréquence de résonance du capteur acoustique monté se situe dans la gamme de fréquences surveillée, on recommande l'utilisation d'unités de mesure pleine échelle couvrant les déviations.

Des diagrammes schématiques modulaires correspondant à des systèmes traditionnels de surveillance des corps errants avec enregistrement intermittent et enregistrement continu sont présentés comme exemples en Annexe C, avec indications des unités fonctionnelles (voir aussi la légende de la Figure 1). L'Article C.1 de l'Annexe C présente le système de surveillance des corps errants avec enregistrement intermittent, l'Article C.2 de l'Annexe C présente le système de surveillance des corps errants avec enregistrement en continu.

## Annexe C (informative)

### Exemples de systèmes de surveillance des corps errants

#### C.1 Exemple de système numérique de surveillance des corps errants avec enregistrement des signaux intermittent (voir Figure C.1)



**Figure C.1 – Diagramme schématique modulaire d'un système de surveillance des corps errants avec enregistrement intermittent**

Les signaux des capteurs acoustiques (1) passent au travers des amplificateurs (2) et produisent des sorties au niveau du traitement du signal. Les signaux de sortie découplée bande large (4) du traitement du signal relient les dispositifs d'enregistrement externe et le traitement du signal (par exemple pour faire des enregistrements de référence) mais aussi alimentent en entrée les indicateurs (6) et l'unité audio (8). Pour le traitement interne du signal, les composantes des signaux liées aux interférences sont réduites grâce à des filtres passe-bande (3).

Les signaux filtrés sont amplifiés (5), et si nécessaire, numérisés à l'aide d'un convertisseur analogique/logique (7-numérisation).

Les signaux numérisés sont acquis et stockés (7-stockage). Les moniteurs de niveaux d'alarme interne (9) et l'élément logique (10) sont utilisés pour commander l'enregistreur intermittent. Le signal de démarrage est envoyé à l'unité d'alarme interne (11) et à l'interface d'alarme externe (12). Le signal de démarrage de (9) et (10) déclenche la fonction de stockage de l'enregistreur intermittent et le transfert des données de l'enregistreur intermittent vers l'unité d'analyse. Le stockage final (7) (archive) des signaux est réalisé par l'unité d'analyse. Les informations d'exploitation sont utilisées pour réduire par le biais de l'élément logique (10) de l'enregistreur intermittent le volume d'alarmes liées au fonctionnement.

Il convient au niveau de la conception système de prendre en compte l'activation des fonctions d'étalonnage (13) et d'essai d'impact avec le générateur de chocs, afin d'en assurer la commande via les dispositifs périphériques de l'unité d'analyse. On a la possibilité de réaliser des transferts de données internes et externes en ce qui concerne les profils de signaux par le système de transmission de données et les branchements réseau.

### C.2 Exemple de système numérique de surveillance des corps errants avec enregistrement des signaux en continu (voir Figure C.2)

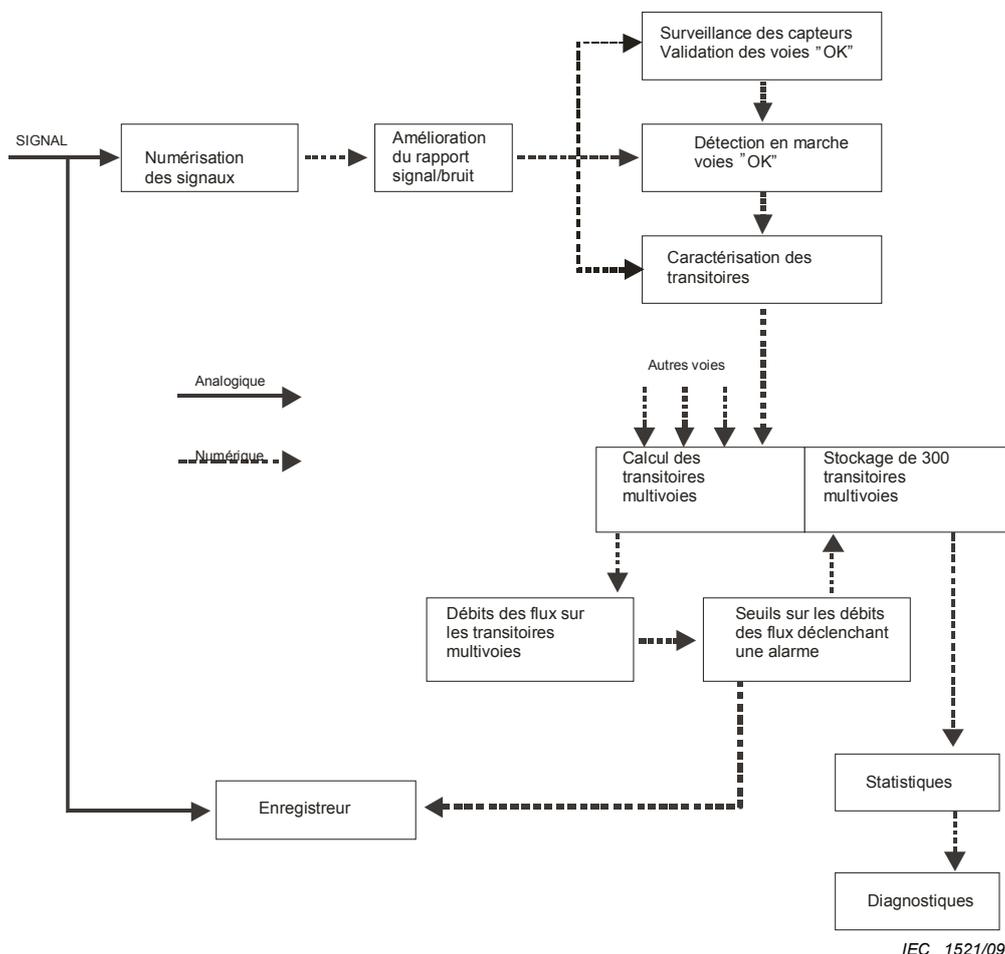


Figure C.2 – Diagramme schématique modulaire d'un système de surveillance des corps errants

Après numérisation, le rapport signal/bruit est amélioré (par exemple au moyen d'un filtre passe-haut ou en utilisant une méthode de réduction spectrale). Le signal en résultant est utilisé pour surveiller les capteurs, pour vérifier que chacun d'eux est valide. Sur les voies valides, les transitoires sont observés et caractérisés, par exemple le temps de montée est mesuré très précisément (précision meilleure que 0,1 ms), ainsi que l'amplitude et la durée.

Chaque transitoire caractérisé est alors intégré dans le transitoire multivoies avec les autres transitoires provenant des autres voies et causés par le même impact de corps errant. Un débit de flux est calculé pour les transitoires multivoies, et il est comparé à un seuil. Si le seuil est dépassé, une alarme est émise et envoyée en salle de commande.

Lorsqu'une alarme est émise:

- L'enregistrement en continu des signaux débute.
- Le stockage de 300 transitoires multivoies contigus démarre. Les statistiques sont calculées, et le diagnostic « Présence de corps errant » « Absence de corps errant » établi à partir des statistiques.

## **Annexe D** (informative)

### **Commentaires sur l'analyse**

L'analyse des mesures à réaliser sur un cas réel est liée à la présence d'écarts par rapport aux bruits de fond stationnaires ou à l'observation d'événements acoustiques élémentaires sur les voies de surveillance.

Pour l'analyse des écarts par rapport aux bruits de fond stationnaires, il est utile de déterminer le spectre de fréquences et de comparer celles-ci avec les précédentes. Les changements affectant les composantes de fréquence (crêtes):

- peuvent fournir des indications sur les modifications à apporter pour l'adaptation des capteurs ainsi que des modifications sur la chaîne de mesure électrique,
- mais ils peuvent aussi être la conséquence d'un changement au niveau du mode de fonctionnement de l'unité surveillée.

En outre, la densité de la distribution des amplitudes peut aider à la détermination de paramètres nécessaires et par exemple fournir des indications sur les interférences au sein d'une chaîne de mesure électrique (voir Figure D.1).

Si des transitoires surviennent, l'analyse des mesures à réaliser concerne la détermination de la cause de l'émission de l'onde sonore et de l'emplacement de son origine.

Lors de l'analyse, un certain nombre de questions doivent trouver une réponse:

- Est-ce un événement acoustique élémentaire ou une multitude d'événements ?
- Quelle est la répartition dans le temps des événements ? (voir la Figure D.3)
- Y a-t-il des groupes de transitoires du même type ? (voir la Figure D.2)
- Est-ce un élément détaché ou desserré ?

On recommande de déterminer les paramètres suivants relatifs au transitoire:

- différences d'arrivée (voir Figure D.4),
- amplitude maximale lors du transitoire sur une voie sélectionnée et leur comportement (tendance d'évolution) (voir Figure D.3),
- distribution des amplitudes du transitoire,
- nombre de transitoires par unité de temps, distribution des intervalles entre transitoires, et
- formes d'onde du transitoire (front de montée, durée du transitoire, courbe de descente, microstructure, spectre associé au transitoire (voir Figure D.2), tendance d'évolution de la valeur efficace).

Les différences d'arrivée servent à localiser le corps errant. La répartition des différences d'arrivée permet de déterminer s'il s'agit d'un élément desserré ou détaché (corps étranger).

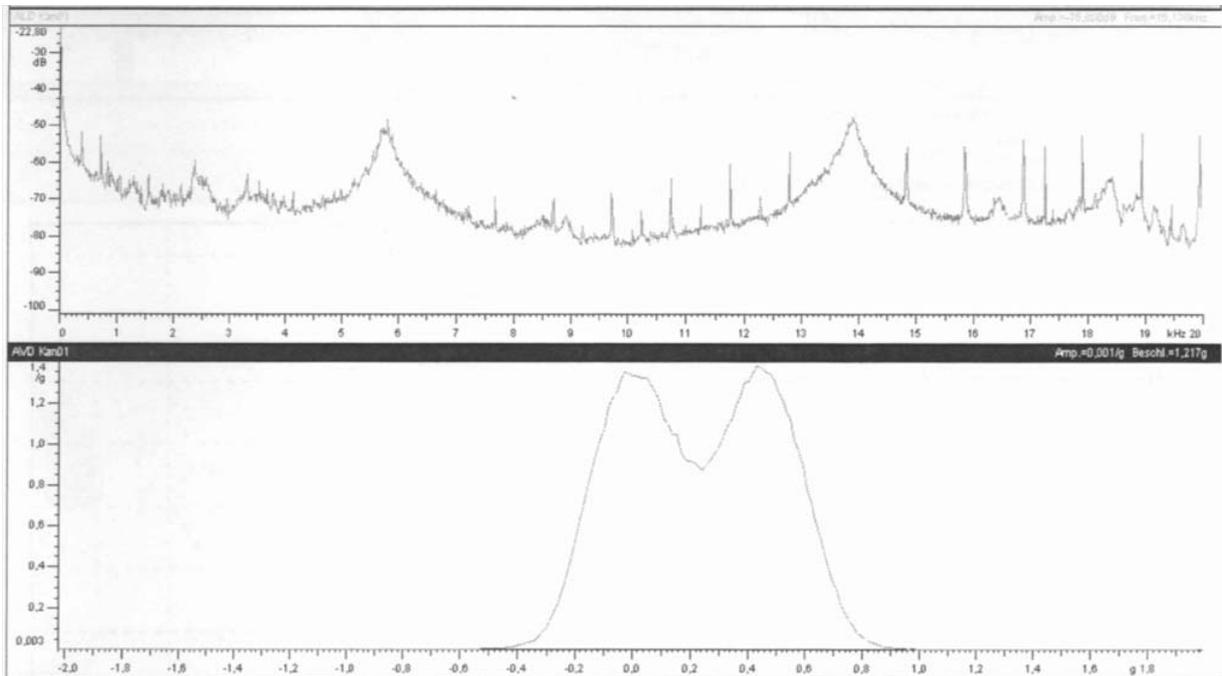
L'amplitude maximale du transitoire fournit une information concernant l'énergie du choc, la distribution des amplitudes du transitoire est utile pour l'analyse de l'événement.

Les formes d'onde de transitoire identifiées permettent de tirer des conclusions sur la longueur franchie par l'onde sonore et sur l'événement acoustique élémentaire primaire. Des fronts de montée brusques indiquent une longueur faible parcourue, des fronts de montée plus progressifs indiquent des longueurs parcourues plus importantes. La durée du transitoire est dépendante du type d'événement acoustique élémentaire (par exemple corps errant,

contrainte de température, bruit d'écoulement). La répartition des intervalles entre transitoires est importante pour déterminer le type d'excitation (par exemple liée au débit).

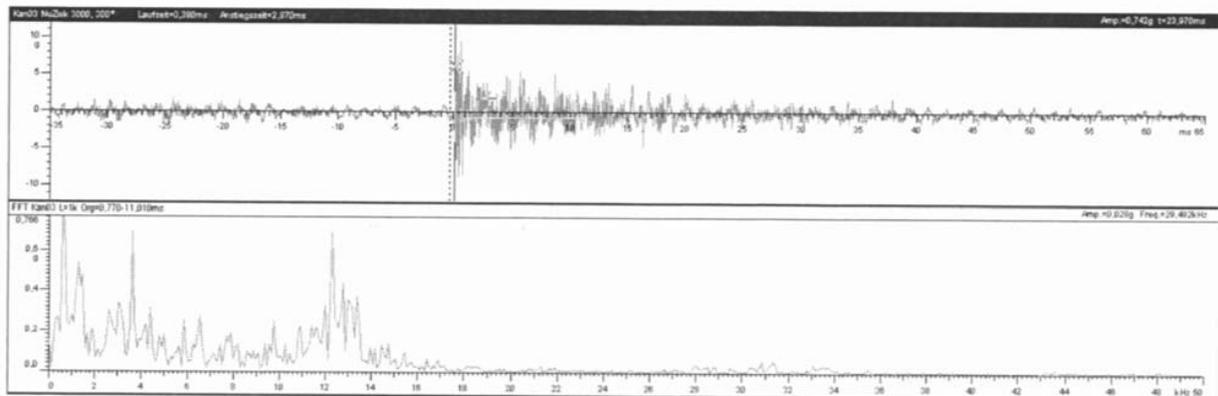
Les profils de transitoires peuvent être évalués grâce à une résolution fine du transitoire par rapport au temps (y compris de la période le précédant), la représentation en parallèle des signaux de plusieurs voies et une forme optimisée de la représentation de la résolution des amplitudes des transitoires individuels. Cette dernière exigence correspond généralement au choix de différentes échelles pour chaque signal de voie.

De plus des analyses complémentaires peuvent être nécessaires (par exemple filtrage numérique du signal, détermination et évaluation du spectre de fréquences, analyse acoustique des transitoires, classement des signaux des transitoires, valeur efficace pour les fréquences choisies).



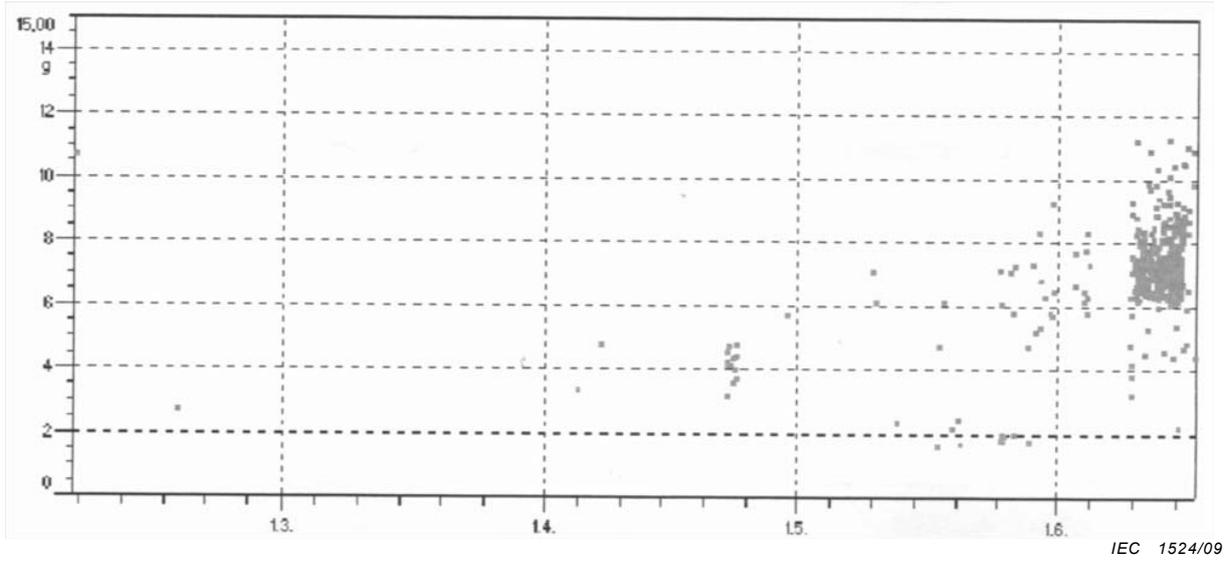
IEC 1522/09

**Figure D.1 – Densité spectrale de puissance ou autospectre du signal de mesure incluant des interférences électriques**

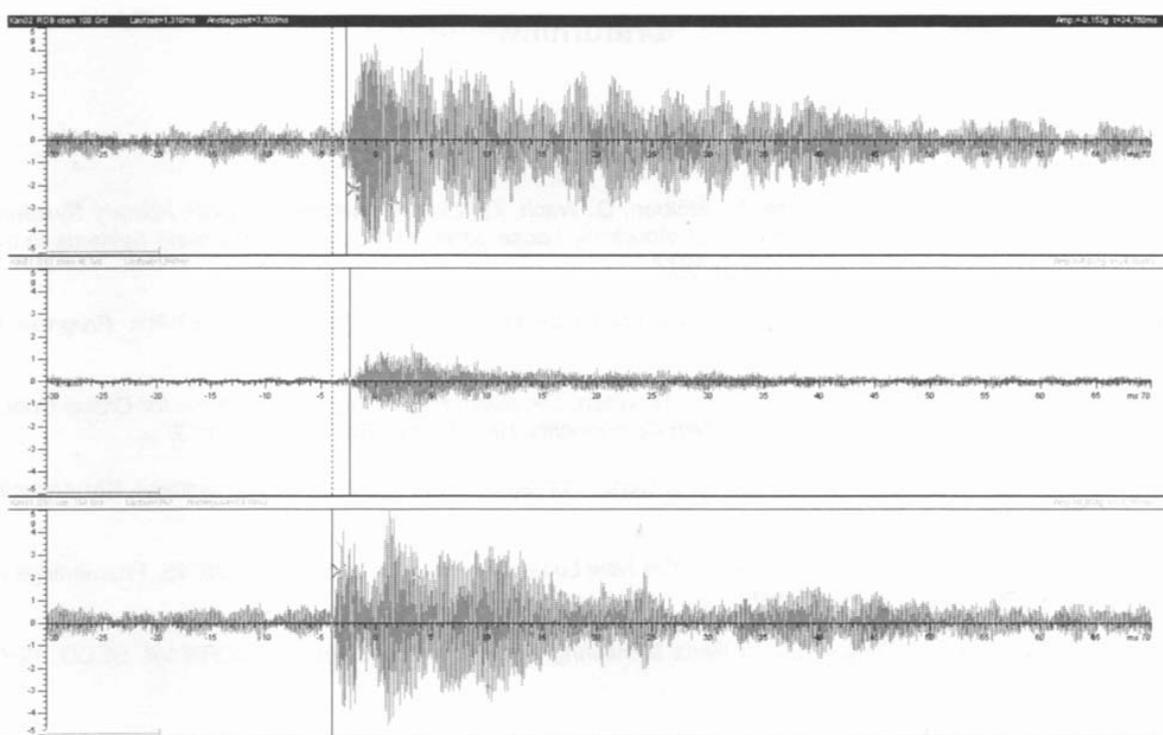


IEC 1523/09

**Figure D.2 – Transitoire avec spectre de fréquences correspondant**



**Figure D.3 – Evolution et distribution des amplitudes de transitoires pour une voie sélectionnée**



**Figure D.4 – Signaux de transitoire avec détermination des différences d'arrivée**

## Bibliographie

W. Goldsmith, *Impact*, Edward Arnold (Publisher) Ltd. London, 1960

W. Bastl, W.H. Dio, B. Raible, H. Stölben, D. Wach, *On-Line Surveillance of LWR Primary Systems, State of the Art and Development of Vibration-, Loose parts- and Leakage Monitoring Systems in the FRG*, Prog. In Nucl. Energy, Vol. 1, 1977

B.J. Olma, *Source Location and mass estimation in loose parts monitoring of LWR's, Progress in Nuclear Energy*, 1985, Vol. 15

V. Bauernfeind, B.J. Olma, R. Sunder, D. Wach, *Development of Diagnostic Methods for Online Condition Monitoring of NPP Primary System Components*, Kerntechnik, Bd. 58 (1993) Nr. 2

B. Olma, *Audio replay of acoustic burst signals for digital loose parts monitoring systems*, Kerntechnik, November 1995, Vol. 60/5-6

B. Bechtold, W. Knoblach, U. Kunze, *The New Loose Part Monitoring System KÜS' 95, Proceedings of SMORN VII*, OECD, NEA, 1996

L. Cleemann, F. Elfinger, *Loose Parts Monitoring System, Proceedings of SMORN VII*, OECD, NEA, 1996

---

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE.  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

LICENSED TO MECON Limited. - RANCHI/BANGALORE.  
FOR INTERNAL USE AT THIS LOCATION ONLY, SUPPLIED BY BOOK SUPPLY BUREAU.

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)