

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
988**

Première édition
First edition
1990-11

**Systèmes de surveillance acoustique
pour la détection des corps errants –
Caractéristiques, critères de conception
et procédures d'exploitation**

**Acoustic monitoring systems
for loose parts detection –
Characteristics, design criteria
and operational procedures**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 988: 1990

Numéros des publications

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

Publications consolidées

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

Validité de la présente publication

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

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

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- «Site web» de la CEI*
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement et mis à jour régulièrement
(Catalogue en ligne)*
- **Bulletin de la CEI**
Disponible à la fois au «site web» de la CEI* et comme périodique imprimé

Terminologie, symboles graphiques et littéraux

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

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

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

Numbering

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

Consolidated publications

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

Validity of this publication

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

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

Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site***
- **Catalogue of IEC publications**
Published yearly with regular updates
(On-line catalogue)*
- **IEC Bulletin**
Available both at the IEC web site* and as a printed periodical

Terminology, graphical and letter symbols

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

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

* See web site address on title page.

**NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD**

**CEI
IEC
988**

Première édition
First edition
1990-11

**Systèmes de surveillance acoustique
pour la détection des corps errants –
Caractéristiques, critères de conception
et procédures d'exploitation**

**Acoustic monitoring systems
for loose parts detection –
Characteristics, design criteria
and operational procedures**

© CEI 1990 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève Suisse
Téléfax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

T

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS.....	4
Articles	
1 Domaine d'application.....	6
2 Définitions.....	6
2.1 Zones de surveillance	6
2.2 Corps errants.....	6
2.3 Son émis par la structure	6
2.4 Capteurs acoustiques.....	8
2.5 Bruit de fond.....	8
2.6 Transitoire	8
2.7 Distribution des intervalles entre transitoires.....	8
2.8 Distribution des amplitudes des transitoires.....	8
2.9 Différence de temps d'arrivée	8
2.10 Sensibilité du système.....	8
2.11 Bande passante	8
3 Techniques de détection des corps errants.....	10
4 Prescriptions relatives au système	16
4.1 Structure de base et critère de conception.....	16
4.2 Acquisition des signaux.....	18
4.3 Mise en forme des signaux.....	22
4.4 Visualisation des signaux.....	22
4.5 Examen des signaux.....	26
4.6 Etalonnage.....	26
4.7 Disponibilité du système.....	28
5 Démarrage initial.....	28
5.1 Généralités.....	28
5.2 Essai du système avant le démarrage initial des pompes primaires.....	28
5.3 Surveillance préliminaire sans niveau d'alarme	30
5.4 Adaptation du système aux prescriptions spécifiques de la centrale.....	30
6 Programme de surveillance.....	32
6.1 Généralités.....	32
6.2 Enregistrements de référence	34
6.3 Mesures pendant le fonctionnement sans alarme.....	34
6.4 Mesures consécutives à une alarme.....	34
6.5 Essais périodiques du système.....	36
7 Documentation.....	38
Annexe A - Exemples d'évaluation.....	40

CONTENTS

	Page
FOREWORD.....	5
Clause	
1 Scope.....	7
2 Definitions	7
2.1 Monitoring areas.....	7
2.2 Loose parts.....	7
2.3 Structure-borne sound.....	7
2.4 Sound sensors.....	9
2.5 Background noise	9
2.6 Burst.....	9
2.7 Burst interval distribution.....	9
2.8 Burst amplitude distribution.....	9
2.9 Delay difference	9
2.10 System sensitivity	9
2.11 Pass-band.....	9
3 Loose part monitoring techniques.....	11
4 System requirements.....	17
4.1 Basic structure and design criteria.....	17
4.2 Signal acquisition.....	19
4.3 Signal processing.....	23
4.4 Signal display.....	23
4.5 Signal monitoring.....	27
4.6 Calibration.....	27
4.7 System availability.....	29
5 Initial startup.....	29
5.1 General.....	29
5.2 System testing before initial startup of coolant circulating pumps	29
5.3 Preliminary monitoring without alarm levels.....	31
5.4 Adapting the system to specific plant requirements.....	31
6 Surveillance programme	33
6.1 General.....	33
6.2 Reference recordings.....	35
6.3 Measures during alarm-free operation.....	35
6.4 Measures following an alarm.....	35
6.5 Periodic testing of the system.....	37
7 Documentation.....	39
Annex A - Evaluation examples	41

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE POUR LA DÉTECTION DES CORPS ERRANTS - CARACTÉRISTIQUES, CRITÈRES DE CONCEPTION ET PROCÉDURES D'EXPLOITATION

AVANT-PROPOS

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

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 45A: Instrumentation des réacteurs, du Comité d'Etudes n° 45 de la CEI: Instrumentation nucléaire.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
45A(BC)114	45A(BC)116

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

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**ACOUSTIC MONITORING SYSTEMS FOR LOOSE PARTS DETECTION -
CHARACTERISTICS, DESIGN CRITERIA AND OPERATIONAL PROCEDURES**

FOREWORD

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

This standard has been prepared by Sub-Committee 45A: Reactor instrumentation, of IEC Technical Committee No. 45: Nuclear instrumentation.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
45A(C0)114	45A(C0)116

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

SYSTÈMES DE SURVEILLANCE ACOUSTIQUE POUR LA DÉTECTION DES CORPS ERRANTS - CARACTÉRISTIQUES, CRITÈRES DE CONCEPTION ET PROCÉDURES D'EXPLOITATION

1 Domaine d'application

Cette norme est applicable aux systèmes utilisés pour la surveillance des ondes sonores transmises par la structure et mesurées à l'extérieur de l'enveloppe du circuit primaire des réacteurs à eau légère, dans le but de détecter et, si possible, de localiser des événements inhabituels, en particulier les impacts métal contre métal causés par les corps errants. Cette norme traite des caractéristiques du système, des critères de conception et des procédures d'exploitation. Elle se limite à la bande des fréquences audibles comprises entre 30 Hz environ et 20 kHz environ.

La norme est fondée sur l'hypothèse que l'on utilise des accéléromètres piézoélectriques pour détecter les ondes sonores transmises par les structures, mais d'autres types de capteurs ne sont pas nécessairement exclus.

2 Définitions

Pour les besoins de la présente norme, les définitions suivantes s'appliquent:

2.1 Zones de surveillance

Les zones de surveillance sont les régions situées à l'intérieur de l'enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur, où des éléments de structure peuvent se désolidariser, ou bien dans lesquelles il existe une forte probabilité de capture de corps errants.

2.2 Corps errants

2.2.1 Généralités

Les corps errants comprennent à la fois les éléments de structure détachés et desserrés, aussi bien que les corps étrangers.

2.2.2 Éléments de structure détachés

Les éléments de structure détachés sont ceux qui n'ont aucune fixation aux structures à l'intérieur de l'enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur et qui, de ce fait, peuvent être entraînés par celui-ci.

2.2.3 Éléments de structure desserrés

Les éléments de structure desserrés sont ceux qui se sont désolidarisés tout en restant néanmoins raccordés aux structures auxquelles ils étaient fixés à l'origine.

2.2.4 Corps étrangers

Les corps étrangers sont ceux qui n'appartiennent pas aux structures internes et qui ont été laissés à l'intérieur de l'enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur au moment des arrêts pour rechargement du réacteur.

2.3 Onde sonore émise par la structure

L'onde sonore émise par la structure est l'onde qui se propage dans les corps solides. Dans cette norme, l'onde sonore émise par la structure est considérée essentiellement dans la bande des fréquences audibles comprises entre approximativement 30 Hz et approximativement 20 kHz.

ACOUSTIC MONITORING SYSTEMS FOR LOOSE PARTS DETECTION - CHARACTERISTICS, DESIGN CRITERIA AND OPERATIONAL PROCEDURES

1 Scope

This standard is applicable to systems used to monitor sound transmitted through the structure and measured outside the primary envelope of light water reactors for the purpose of detecting, and where possible, locating unusual occurrences, particularly metal to metal impacts caused by loose parts. This standard covers system characteristics, design requirements and operational procedures. It is confined to the audible frequency range from approximately 30 Hz to approximately 20 kHz.

The standard is based on the assumption that piezoelectric accelerometers are used to detect the structure-borne sound, but alternative sensors are not necessarily excluded.

2 Definitions

For the purposes of this standard, the following definitions apply.

2.1 *Monitoring areas*

Monitoring areas are those regions inside the pressure-retaining boundary of the reactor coolant where parts may become loosened or the probability of loose parts being trapped is high.

2.2 *Loose parts*

2.2.1 *General*

Loose parts include both detached and loosened parts as well as foreign parts.

2.2.2 *Detached parts*

Detached parts are those parts which have no attachment to the components in the pressure-retaining boundary of the reactor coolant, and which therefore can be carried along with the reactor coolant.

2.2.3 *Loosened parts*

Loosened parts are those parts which have become loose, yet still remain connected to the component to which they were originally fixed.

2.2.4 *Foreign parts*

Foreign parts are those objects which do not belong to the internal structures and which have been left in the pressure retaining boundary of the reactor coolant during the outage periods of the reactor.

2.3 *Structure-borne sound*

Structure-borne sound is the sound which propagates in solid bodies. The structure-borne sound in this standard is mainly taken to mean the sound within the audible frequency range from approximately 30 Hz to approximately 20 kHz.

2.4 Capteurs acoustiques

Les capteurs sensibles aux ondes sonores émises par les structures sont des convertisseurs d'énergie mécanique en énergie électrique. L'onde détectée à la surface de l'enveloppe sous pression contenant le fluide caloporteur est restituée sous forme d'un signal de déplacement, de vitesse ou d'accélération.

NOTE - Les capteurs sensibles aux ondes sonores émises par la structure seront dénommés détecteurs ou capteurs acoustiques.

2.5 Bruit de fond

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

2.5.1 Bruit de fond stationnaire

Le bruit de fond stationnaire est constitué de composantes aléatoires (par exemple bruit d'écoulement du fluide caloporteur) et de composantes déterministes (par exemple bruit de pompe dépendant de la vitesse).

2.5.2 Événement acoustique élémentaire

Un événement acoustique élémentaire correspond à une onde sonore émise par la structure et générée par un événement élémentaire qui se superpose au bruit de fond stationnaire (par exemple impact d'un corps errant, bruit émis par les mécanismes de commande des barres de contrôle ou soudaine relaxation de contraintes).

2.6 Transitoire

Un transitoire est un élément de signal issu du capteur acoustique et provoqué par un événement acoustique élémentaire. Il se superpose au signal de bruit de fond stationnaire (voir figures 1 et 2, page 12).

2.7 Distribution des intervalles entre transitoires

La distribution des intervalles entre transitoires est la distribution de fréquence des intervalles de temps observés entre les transitoires individuels.

2.8 Distribution des amplitudes des transitoires

La distribution des amplitudes des transitoires est la distribution de fréquence des amplitudes maximales des transitoires observés.

2.9 Différence de temps d'arrivée

La différence de temps d'arrivée est l'intervalle de temps mesuré entre les instants d'apparition des transitoires générés par un événement acoustique élémentaire dans les signaux de différents capteurs acoustiques.

2.10 Sensibilité du système

La sensibilité du système est exprimée à partir de l'énergie du plus petit événement acoustique qui puisse être détecté compte tenu du niveau de bruit de fond existant.

2.11 Bande passante

Les fréquences de coupure basse et haute (à 3 dB) de toute bande passante sont, dans cette norme, respectivement référencées f_a et f_b .

2.4 *Sound sensors*

Structure-borne sound sensors are mechanical/electrical energy converters receiving structure-borne sound which is detectable at the surface of the pressure-retaining boundary of the reactor coolant as displacement, velocity or acceleration.

NOTE - Structure-borne sound sensors are referred to hereafter as sound sensors.

2.5 *Background noise*

The background noise is the 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.

2.5.1 *Stationary background noise*

Stationary background noise consists of stochastic components (e.g. coolant flow noise) and deterministic components (e.g. speed-dependent pump noise).

2.5.2 *Single sound event*

A single sound event is the 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).

2.6 *Burst*

A burst is the signal component generated in the sound sensor as a result of a single sound event and is superimposed on the signal of the stationary background noise (see figures 1 and 2, page 13).

2.7 *Burst interval distribution*

The burst interval distribution is the frequency distribution of the time intervals observed between the individual bursts.

2.8 *Burst amplitude distribution*

The burst amplitude distribution is the frequency distribution of the maximum amplitudes of the bursts observed.

2.9 *Delay difference*

The delay difference is the time difference between the occurrence of the bursts generated by a single sound event in the signals of different sound sensors.

2.10 *System sensitivity*

The system sensitivity is the minimum sound event energy which can be resolved from the background noise.

2.11 *Pass-band*

This standard refers to f_a and f_b as the lower and upper 3 dB frequencies of the band width of any pass-band.

3 Techniques de détection des corps errants

Chaque fois que des éléments de structure détachés ou desserrés heurtent la surface intérieure de l'enveloppe primaire (enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur) ou ses structures internes, il y a transmission d'énergie aux parois, et génération d'événements acoustiques élémentaires.

Le bruit de fond est généré par le fluide caloporteur et les pompes, de même que par d'autres composants montés à l'intérieur ou au contact de l'enveloppe primaire (enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur) et activés pendant le fonctionnement (par exemple manœuvre d'une vanne et déplacement des barres de commande). Ce bruit de fond se compose d'un bruit de fond stationnaire et d'événements acoustiques élémentaires liés au fonctionnement du réacteur.

Les ondes sonores émises par la structure sont perçues par des capteurs montés à l'extérieur de l'enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur.

Pour détecter des corps errants, on mesure et on surveille les amplitudes des signaux émis par les capteurs acoustiques dans une bande de fréquences définie. Le personnel d'exploitation peut écouter les signaux à intervalles réguliers ou à tout moment.

Pour fixer des niveaux d'alarme en amplitude sur les signaux, on utilise des enregistrements de référence. Les niveaux d'alarme sont fixés conformément à ce qui est décrit au paragraphe 5.4. Ce paragraphe recommande que la sensibilité du système de détection soit établie de manière optimale en se basant sur le bruit de fond, et en faisant en sorte d'avoir un taux de fausses alarmes raisonnable. Si en cas d'alarme, il n'y a pas d'explication précise sur son origine, une méthode consiste à enregistrer les transitoires initiateurs de cette alarme et à les comparer à des signaux de référence enregistrés préalablement.

Le critère utilisé pour identifier les corps errants (du type éléments de structure détachés ou du type éléments de structure désolidarisés) consiste à étudier les différences de temps d'arrivée des ondes acoustiques provenant des événements acoustiques élémentaires et observées sur les capteurs acoustiques placés en des points différents. Dans le cas d'éléments de structure désolidarisés, les différences de temps d'arrivée seront constantes, tandis que dans le cas d'éléments de structure détachés, elles peuvent être variables.

Des formes typiques de signaux sont représentées sur les figures 1, 2 et 3, pages 12 et 14.

Un exemple de diagramme schématique de fonctionnement typique d'un système de surveillance des corps errants est représenté par la figure 4, page 16.

3 Loose part monitoring techniques

Whenever detached or loosened parts impact on the inner surface of the primary envelope (the pressure-retaining boundary of the reactor coolant) or its internal structures, there is an energy transport to the walls. Single sound events are generated as a result.

Background noise is generated by the coolant flow and the pumps as well as by other components mounted in or on the primary envelope (pressure-retaining boundary of the reactor coolant) and which are activated during operation (e.g. valve actuation and control rod movement). These are composed of stationary background noise and single operation-related sound events.

The structure-borne sound is received by sound sensors mounted on the outside of the pressure-retaining boundary of the reactor coolant.

For loose parts detection the amplitudes of the signals measured by the sound sensors are monitored in a defined frequency range. Operating staff may listen to the noise signals at regular intervals or at any time.

Reference recordings are used to set alarm levels for the signal amplitudes. Alarm levels are set as described in 5.4, which recommends that the system detection sensitivity should be set on the basis of background noise to achieve the maximum sensitivity commensurate with an acceptable false alarm rate. If an alarm cannot be explained unambiguously, one method to assist resolution of ambiguity consists of comparing recorded bursts to reference signals and recordings.

The criterion used to distinguish between detached and loosened parts is the delay differences of associated single sound events which are determined by sound sensors positioned at different points. In the case of loosened parts, constant delay differences will be observed, whereas in the case of detached parts, delay differences may vary.

Typical signal shapes are shown in figures 1, 2 and 3, pages 13 and 15.

An example of the typical functional schematic diagram of a loose parts monitoring system is shown in figure 4, page 17.

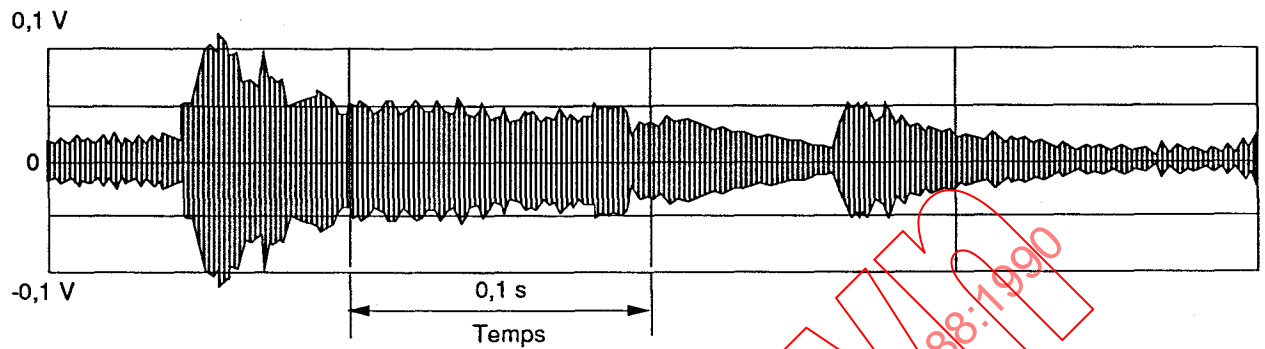


Figure 1 - Forme de signal avec des transitoires des événements acoustiques élémentaires liés au fonctionnement du réacteur et provoqués par les mécanismes de commande des barres de contrôle d'un réacteur à eau pressurisée

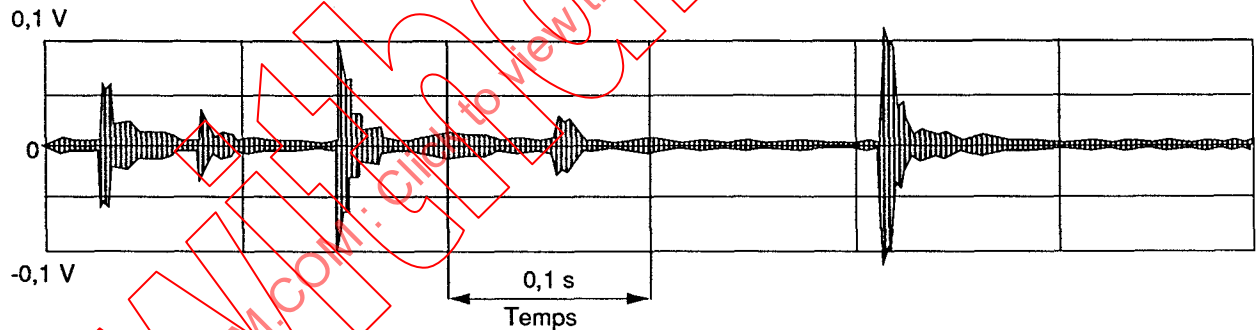


Figure 2 - Forme du signal avec des transitoires provoqués par un corps errant (corps étranger) dans la boîte à eau chaude d'un générateur de vapeur d'un réacteur à eau pressurisée

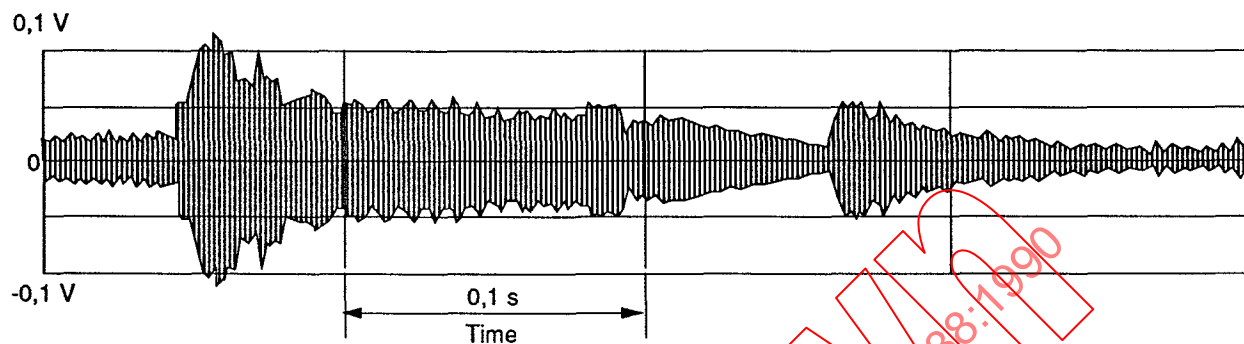


Figure 1 - Signal shape with bursts of operation-related single sound events caused by the control rod drive mechanism of a pressurized water reactor

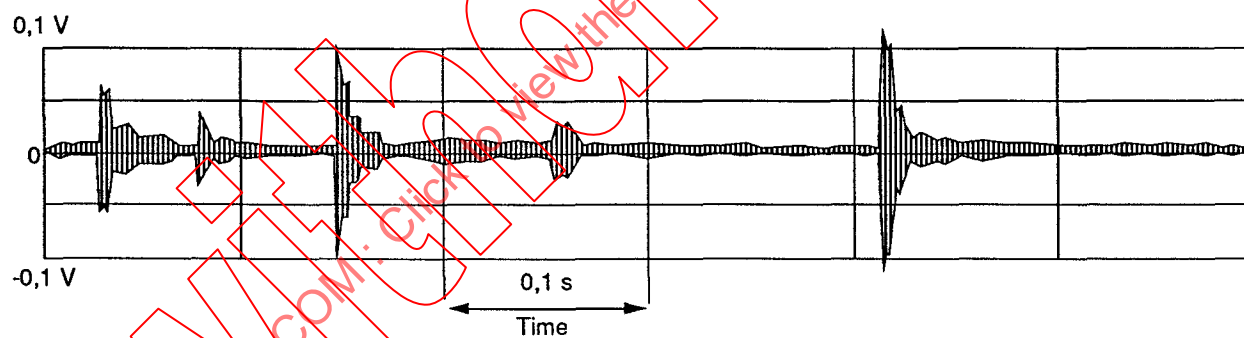
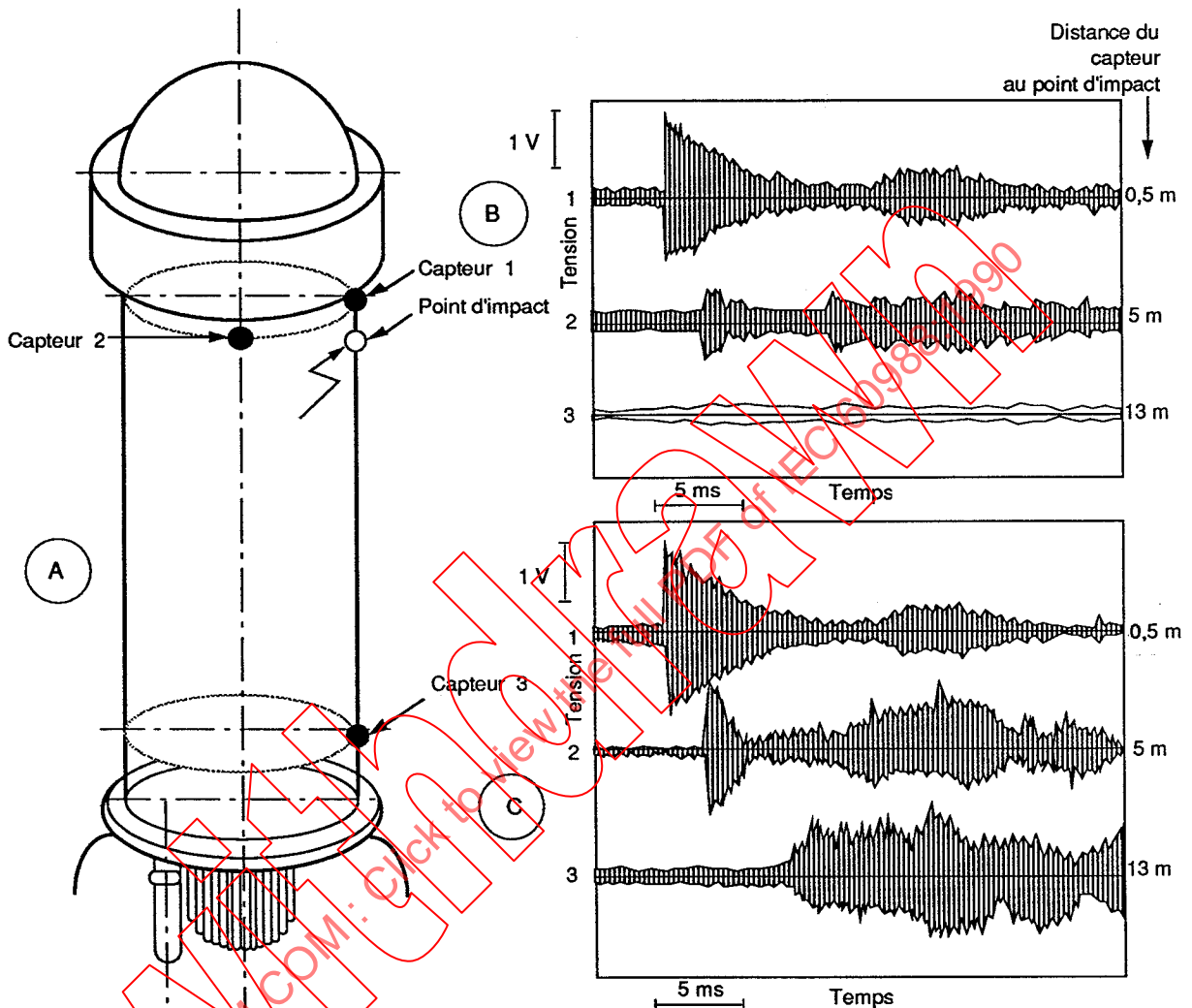


Figure 2 - Signal shape with bursts caused by a loose part (foreign part) in the steam generator inlet plenum of a pressurized water reactor



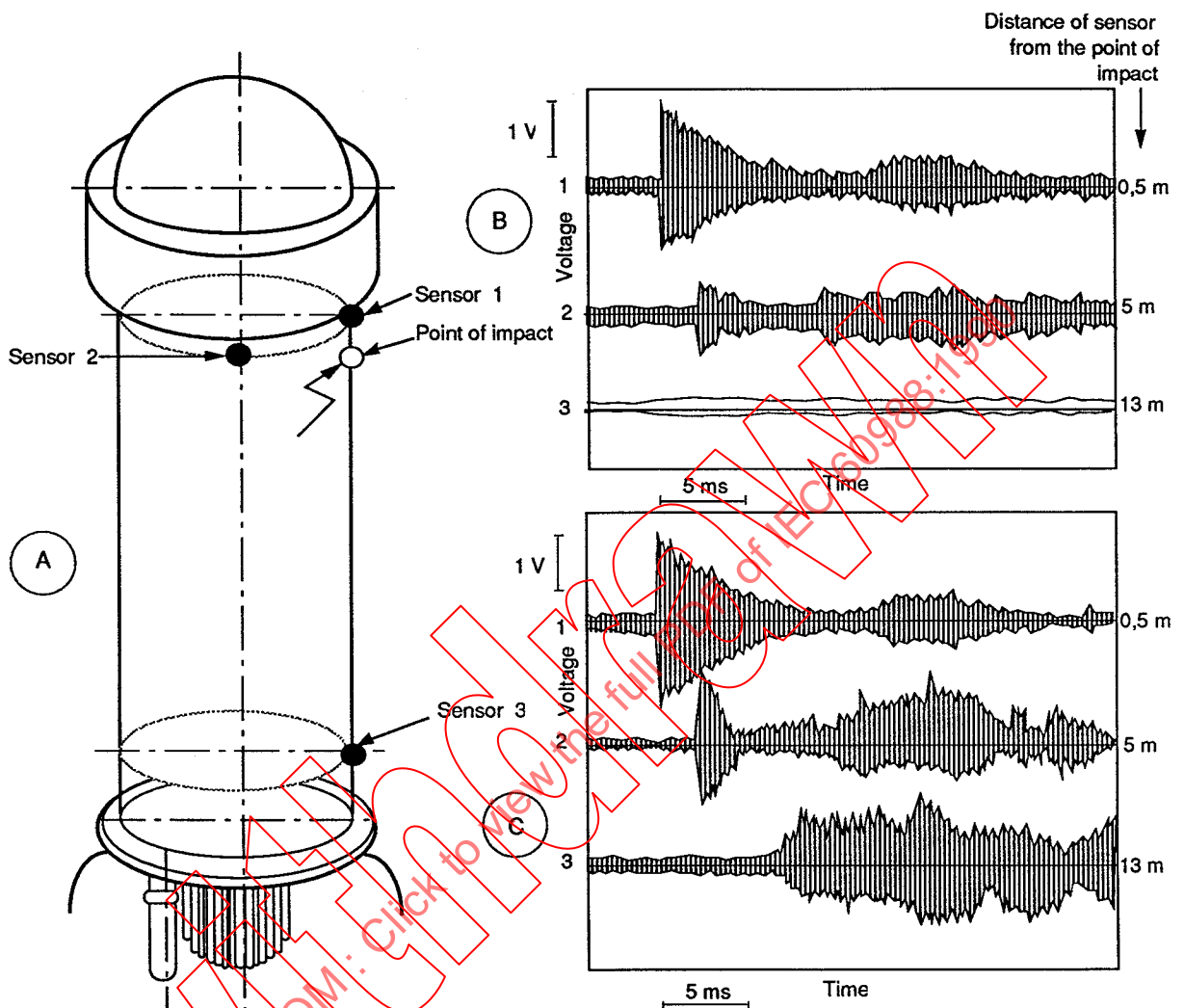
A: impact au niveau du plan de mesure supérieur

B, C: forme des signaux avec des transitoires, en réponse à un impact d'essai tel qu'indiqué en A

En B, les signaux ont une amplification identique.

En C, les signaux des capteurs les plus éloignés ont été amplifiés de façon à permettre l'analyse des transitoires.

Figure 3 - Exemples de signaux acoustiques émis par les structures lors d'un impact d'essai sur la cuve d'un réacteur à eau bouillante



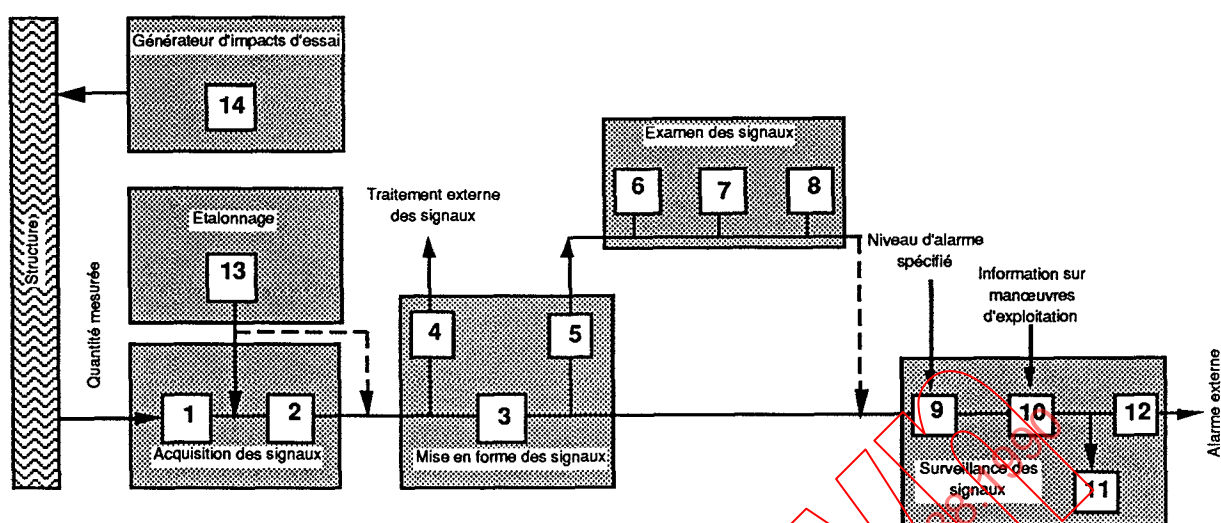
A: impact at the level of the upper measuring plane

B, C: signal shapes with bursts of a test impact as indicated in A

In B, signals have identical amplification.

In C, the signals of the more distant sensors were post-amplified in order to be able to perform the evaluation of the burst analysis.

Figure 3 - Examples of structure-borne sound signals of a test impact on the pressure vessel of a boiling water reactor (BWR)



- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1 - capteur acoustique | 8 - module de sonorisation |
| 2 - préamplificateur / convertisseur | 9 - moniteur de niveau d'alarme |
| 3 - filtre passe-bande | 10 - élément logique |
| 4 - sortie des signaux découplés | 11 - unité d'alarme interne |
| 5 - amplificateur | 12 - interface avec l'alarme externe |
| 6 - indicateur | 13 - unité d'étalonnage (permanente ou autre) |
| 7 - enregistreur ou mémoire | 14 - générateur d'impacts d'essai (permanent ou autre) |

Figure 4 - Diagramme schématique de fonctionnement d'un système de détection des corps errants

4 Prescriptions relatives au système

4.1 Structure de base et critère de conception

La conception et l'installation du système doivent être conformes à la réglementation relative à l'instrumentation et au contrôle pour le réacteur particulier considéré ici.

Il est recommandé que le système soit capable de détecter un corps errant métallique qui frappe la surface de l'enceinte sous pression contenant le fluide caloporteur avec une énergie cinétique de 0,7 J, dans un rayon de 1 m autour du capteur. Pour une telle énergie, l'étendue des masses correspondante peut être au moins comprise entre 0,1 kg et 15 kg.

Pour une surveillance en continu, le système comprend les fonctions suivantes indiquées à la figure 4:

- acquisition des signaux;
- mise en forme des signaux;
- examen des signaux;
- surveillance des signaux;
- étalonnage.

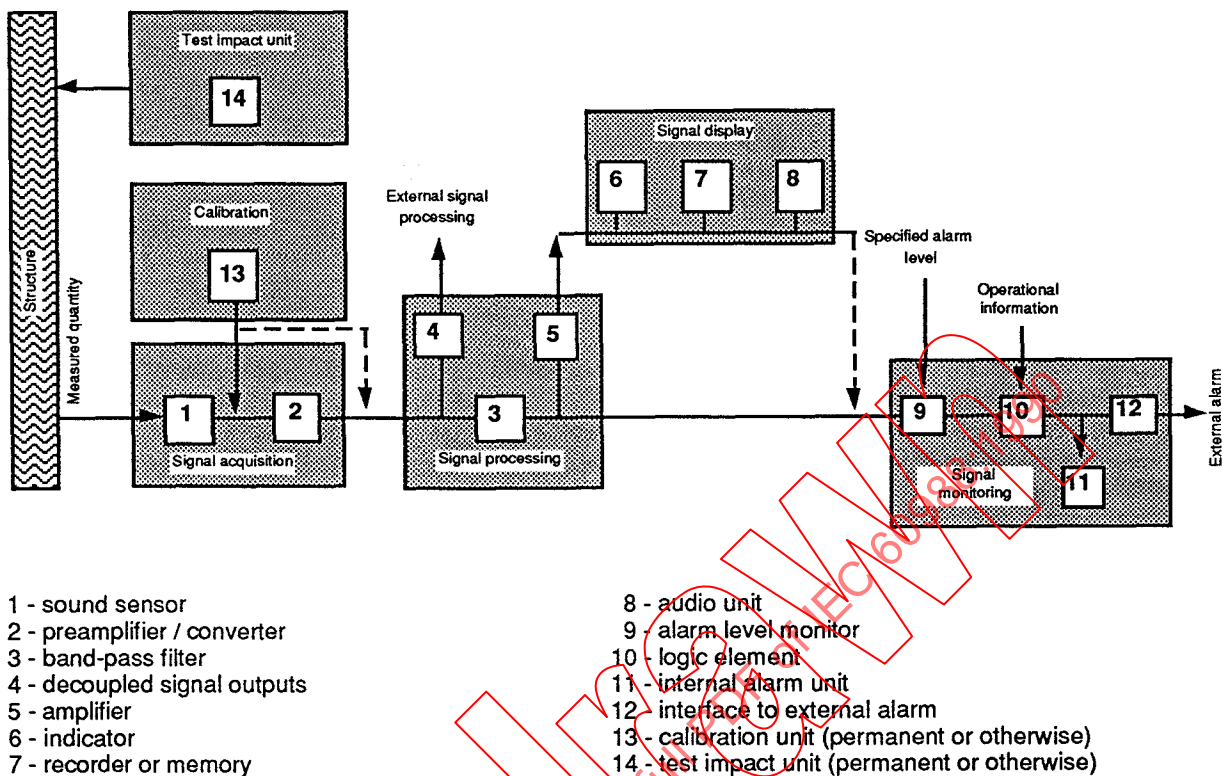


Figure 4 - Functional schematic diagram of a loose parts monitoring system

4 System requirements

4.1 Basic structure and design criteria

The design and installation of the system shall be in accordance with regulations relating to system instrumentation and control for the particular reactor plant.

The system should be able to detect a metallic loose part that impacts with a kinetic energy of 0,7 J on the surface of the reactor coolant pressure boundary within 1 m of the sensor. For such an energy value, the corresponding weight range could be typically from 0,1 kg to 15 kg.

The system shall provide the following functions as shown in figure 4 for continuous monitoring:

- signal acquisition;
- signal processing;
- signal display;
- signal monitoring;
- calibration.

Dans un système type, les signaux des détecteurs acoustiques (1) passent par des préamplificateurs à large bande (2) jusqu'à des sorties (4) pour un traitement ultérieur; ces sorties sont réservées pour connecter des dispositifs externes (voir 4.3.3). Pour un traitement interne ultérieur des signaux, les composantes parasites du signal (par exemple bruit des pompes, bruits d'origine électrique) sont réduites à l'aide d'un filtre passe-bande (3) et les signaux sont amplifiés (5). La surveillance des signaux est réalisée par un moniteur de niveau d'alarme (9), un élément logique (10), une unité d'alarme interne (11) et une interface avec alarme externe (12). Les signaux sont visualisés au moyen d'un indicateur (6), un enregistreur multi-canal ou mémoire (7) et un module de sonorisation (8). Les canaux peuvent être essayés et étalonnés avec une unité d'étalonnage (13). Le système de détection des corps errants peut être essayé au moyen d'un générateur d'impacts d'essai (14). Les modules (13, 14) ne sont pas forcément installés à demeure. Lorsque cela est techniquement possible, les composants du système sont disposés dans des endroits accessibles.

La conception du système est influencée par la sensibilité des détecteurs, les détails de montage des capteurs et le gain de l'amplificateur. Les performances du montage sont difficiles à évaluer. Typiquement, si l'on considère le capteur et l'amplificateur associé, une accélération de la structure de 30 g couvre l'ensemble des cas observés en exploitation et correspond à un signal de sortie maximum de l'amplificateur (dans son étendue de fonctionnement linéaire). Dans ce cas, le gain de l'amplificateur est réglé au minimum. L'effet du montage peut être négligé sous réserve que les amplifications autour des résonances n'affectent pas la gamme de fonctionnement de manière inacceptable (par exemple lorsque l'amplification est supérieure à 15).

Pour des facteurs d'amplification du signal à la résonance plus importants, il faut ajuster en conséquence la sensibilité de la chaîne de mesure.

Si la fréquence de résonance du capteur acoustique monté se situe dans la bande de fréquences surveillée, l'utilisation d'unités de mesures en pourcentage de la pleine échelle est recommandée.

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 de masse et d'énergie citées ci-dessus avec un minimum de fausses alarmes. Selon l'algorithme de détection particulier utilisé, la gamme de fréquences se situe typiquement entre $f_a = 0,5 \text{ Hz}$ à 1 kHz et $f_b = 10 \text{ kHz}$ à 20 kHz .

Les différences entre les fonctions de réponse amplitude/fréquence d'un sous-ensemble de mesure à tout autre sous-ensemble, à l'exception des capteurs acoustiques, ne devraient pas être supérieures à 1 dB. Cette règle est valable pour les sous-ensembles de mesure, excepté pour les modules ou les méthodes de correction qui peuvent être utilisés pour compenser la réponse des capteurs. Si l'on considère la gamme de fréquences et la gamme d'amplitudes utilisées pour la surveillance, l'erreur sur la linéarité en amplitude devrait être inférieure à 1 dB et les écarts de réponse en fréquence pour tous les sous-ensembles de mesure devraient être situés dans une bande de 3 dB.

4.2 Acquisition des signaux

4.2.1 Choix et installation des capteurs acoustiques

Les capteurs acoustiques utilisés doivent être de préférence de type piézoélectrique. Il convient de les choisir de manière qu'ils résistent aux conditions ambiantes (par exemple exposition simultanée à de hauts niveaux de température et de rayonnements, projections d'eau) propres à leur point d'installation. Puisque les systèmes de détection et de diagnostic précoces ne sont pas tenus de fonctionner réglementairement dans des situations anormales, il n'existe aucune réglementation formelle qui les contraigne à supporter ces conditions d'environnement.

Les capteurs acoustiques doivent être montés sur la surface externe de l'enveloppe primaire. Toutes les méthodes de fixation (par exemple fixation à vis, de type magnétique ou par brides), qui répondent aux prescriptions décrites dans cette norme, et qui ne mettent pas en cause l'intégrité de la cuve, sont autorisées. Il est souhaitable que tous les capteurs acoustiques d'un même système aient des caractéristiques de réponse uniformes (sensibilité, fonction de réponse en fréquence).

Lorsqu'on sélectionne les emplacements de montage, il y a lieu:

- d'évaluer l'enveloppe primaire afin de bien identifier les endroits d'où seront issus les signaux acoustiques;

In 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 (see 4.3.3). 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 (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 unit (14). The modules (13, 14) are 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 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 of weight and energy stated above with a minimum of false alarms. Depending upon the particular detection algorithm the frequency range is typically between $f_a = 0,5 \text{ Hz}$ to 1 kHz and $f_b = 10 \text{ kHz}$ to 20 kHz .

The differences in the amplitude/frequency response functions of one measuring sub-assembly from any other sub-assembly, excluding the sound sensors, should not be greater than 1 dB. This requirement is valid for the measuring sub-assembly modules with the exception of the modules or correction methods which may be used to compensate sound sensors. Within the frequency and dynamic range used for monitoring, the error of the amplitude linearity should be less than 1 dB and the deviations of the frequency response functions of all measuring sub-assemblies should be within a band of 3 dB.

4.2 *Signal acquisition*

4.2.1 *Selection and installation of the sound sensors*

The recommended sound sensors are piezoelectric transducers. They should be selected to be able to withstand the ambient conditions (e.g. simultaneous exposure to high temperature and radiation levels, spray water) prevailing at their point of installation. Since an early warning and diagnostic system does not need to be functional in abnormal conditions, no formal requirement to withstand such conditions exists.

The sound sensors shall be mounted on the outer surface of the primary envelope. All methods of attachment (e.g. screw, magnetic, clamping connections) which meet the requirements described in this standard and which are acceptable as regards the integrity of the vessel, may be used. All sound sensors in a particular system should have uniform response characteristics (sensitivity, frequency response function).

When selecting mounting locations, the following shall be considered:

- an assessment should be made of the primary envelope with a view to identifying the locations from which acoustic signals will originate;

- de placer convenablement les capteurs acoustiques dans les zones à surveiller (par exemple la partie basse de la cuve du réacteur et la boîte à eau chaude du générateur de vapeur);
- de monter les capteurs acoustiques dans les endroits où les conditions de transmission des ondes sonores entre les structures internes et l'enveloppe primaire sont particulièrement favorables (par exemple dans la zone des ajutages d'entrée ou sur les anneaux de levage du couvercle de la cuve, dans les réacteurs à eau pressurisée, ou dans la zone des dispositifs de supportage du cœur et dans la zone de l'anneau de supportage des sécheurs de vapeur pour les réacteurs à eau bouillante);
- de veiller à ce que les capteurs acoustiques soient remplaçables;
- de veiller à ce que la disposition des capteurs acoustiques ne gêne pas l'accès pour les examens non destructifs;
- de veiller à ce que le débit de dose local soit aussi faible que possible.

Le nombre de capteurs acoustiques à installer dans chaque zone à surveiller est directement lié à la fonction recherchée. S'il s'agit seulement de détecter les corps errants (éléments de structure détachés ou désolidarisés), alors un seul capteur acoustique suffira (par exemple, au niveau de la boîte à eau chaude du générateur de vapeur). S'il s'agit d'identifier les chocs provenant d'éléments de structure détachés ou d'éléments de structure désolidarisés, l'utilisation de deux capteurs peut être nécessaire. S'il s'agit de localiser des éléments de structure détachés ou désolidarisés dans un large volume (par exemple, cuve du réacteur), il faudra utiliser au moins trois capteurs.

Il peut s'avérer nécessaire d'utiliser davantage de capteurs pour le diagnostic d'événements acoustiques élémentaires. Dans ce cas, les signaux associés ne sont pas surveillés (canaux passifs). La fixation du capteur ne doit pas affecter la fonction ou l'intégrité du composant auquel il est fixé.

Pour l'installation des capteurs acoustiques, les zones de montage doivent être préparées en fonction de la nature de la fixation retenue. Une surface plane de dimensions au moins égales à celles de la surface de montage du capteur acoustique doit être prévue. La rugosité de cette surface correspond, en principe, au type de montage prévu. En outre, les connexions vissées ou par brides doivent être protégées contre le desserrage et les aimants contre les glissements. Les montages magnétiques ne devraient être utilisés que pour des installations temporaires. Il faut également prendre des mesures relatives à la traction des câbles du capteur. Le montage ne doit pas, en principe, être affecté de façon notable par la corrosion atmosphérique, le cyclage ou le vieillissement thermiques.

4.2.2 Préamplificateurs

Il est souhaitable que les signaux issus des capteurs acoustiques soient convertis au niveau de préamplificateurs (ou convertisseurs d'impédance) de telle façon que la transmission à l'unité de mise en forme du signal soit aussi peu affectée que possible par les parasites. Lors de la conception des préamplificateurs (ou convertisseurs) il conviendra de tenir compte des conditions ambiantes qui existent au point d'installation.

On réduira au minimum les parasites électriques par un choix approprié du type de câble, de leur longueur et de leur parcours, et en apportant le soin nécessaire à leur installation et à leur maintenance. Ces câbles doivent être conçus pour satisfaire aux conditions ambiantes. Pour permettre d'ajuster les canaux entre eux, en tenant compte des différences de sensibilité des capteurs, un réglage continu doit pouvoir être réalisé, soit au niveau du préamplificateur, soit au niveau de l'unité de mise en forme des signaux.

La fréquence de coupure supérieure doit être choisie de manière à permettre la transmission de la fréquence de résonance du capteur acoustique monté. Si les préamplificateurs sont montés dans l'enceinte de confinement, il y a lieu de veiller particulièrement à leur fiabilité et aux possibilités de maintenance.

- the sound sensors shall be positioned suitably in the monitoring areas (e.g. the bottom head of the reactor, the pressure vessel and the steam generator inlet plenum);
- the sound sensors should be mounted where conditions for sound transmission between the internal structures and the pressure-retaining boundary are particularly favourable (e.g. in the nozzle area or on the lifting lugs of the vessel head of pressurized water reactors, in the area of the core supports and in the area of the steam dryer support ring in boiling water reactors);
- the sound sensors should be replaceable;
- the arrangement of the sound sensors shall not restrict access for non-destructive examinations;
- the local dose rate should be as low as possible.

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 (e.g. steam generator inlet plenum). To distinguish between detached and loosened parts, two sound sensors may be adequate. When it is necessary to locate detached and loosened parts in a large volume (e.g. reactor vessel), at least three sound sensors shall be used.

Further sound sensors may be necessary for the diagnosis of single sound events. The associated signals are not monitored (passive channels). The fixing of a sensor shall not affect the function or integrity of the component to which it is fixed.

For installing the sound sensors, the mounting locations shall be prepared in accordance with the nature of the intended connection. A flat surface shall be ensured with dimensions equalling at least those of the mounting surface of the sound sensor. The roughness of this surface should be matched to the intended type of mounting. In addition, screw and clamping connections shall be protected against loosening, and magnets against slipping. Magnetic mountings should only be used for temporary installation. Provision shall be made for the strain relief of the sensor cables. The mounting should not be significantly affected by atmospheric corrosion, thermal cycling or thermal ageing.

4.2.2 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 (or converters) should take into account the ambient conditions which prevail at the point of installation.

Electrical interference shall be minimized by correct choice of cable type, routing and length, due consideration being given to installation and maintenance. These cables shall be designed in accordance with the ambient conditions. To enable channels to be matched to each other taking into account differences in the sensitivity of the sensors, a continuous adjustment should be possible either in the preamplifier or in the signal processing unit.

The upper cut-off frequency shall be selected in such a way that the resonant frequency of the mounted sound sensor is transmitted. If preamplifiers are mounted within the containment, particular attention should be given to reliability and the need for maintenance.

4.3 *Mise en forme des signaux*

4.3.1 *Généralités*

Les fonctions de l'unité de mise en forme des signaux sont les suivantes:

- améliorer le rapport signal sur bruit de fond de type stationnaire au moyen d'un filtrage passe-bande;
- fournir des signaux filtrés et/ou non filtrés pour permettre un traitement externe;
- mettre en forme les signaux pour pouvoir les examiner et les surveiller.

Tous les modules doivent avoir une dynamique de mesure appropriée et une réponse en fréquence conformes aux prescriptions générales. Si l'on utilise une technique numérique, des prescriptions équivalentes doivent être également satisfaites. Ces dernières peuvent être remplies de différentes façons. L'unité de mise en forme des signaux est généralement composée des modules ci-après.

4.3.2 *Filtres passe-bande*

Les prescriptions que doivent en principe remplir les filtres passe-bande sont:

- atténuation du filtre: 24 dB/octave;
- linéarité maximale du filtre: ± 1 dB;
- bande passante et fréquences de coupure ajustables dans les limites de bande passante définies en 4.1.

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

4.3.3 *Signaux de sortie externes*

Les modules délivrant des signaux de sortie doivent, en principe, fournir des signaux découplés et isolés et protégés contre les courts-circuits. Leur conception doit permettre de transmettre les signaux sur toute la gamme des amplitudes et fréquences des préamplificateurs. La sortie des signaux doit être compatible avec les équipements de traitement de données.

4.3.4 *Amplificateur de visualisation*

Au cas où il existe un amplificateur de visualisation, il doit être possible de faire varier l'amplification d'au moins quatre niveaux d'environ 10 dB chacun. Si l'unité de surveillance des signaux est connectée en série avec l'amplificateur, le niveau absolu d'alarme doit rester le même lorsque l'amplification est modifiée. Il est donc recommandé de connecter directement l'unité de surveillance des signaux au filtre passe-bande.

4.4 *Examen des signaux*

4.4.1 *Généralités*

Les fonctions de l'unité de visualisation des signaux sont les suivantes:

- indiquer le niveau du bruit de fond et des signaux utilisés pour les essais fonctionnels;
- enregistrer les signaux de manière à pouvoir accéder aux paramètres nécessaires à l'interprétation des événements détectés. La forme des signaux transitoires est particulièrement importante pour déterminer de manière précise les fronts de montée et les différences de temps de propagation ainsi qu'il est expliqué dans l'annexe A;
- permettre une évaluation subjective par écoute humaine.

Dans une technique de type analogique, l'unité d'examen des signaux est généralement constituée par les modules ci-dessous. Si l'on utilise une technique numérique, les prescriptions doivent être suivies de façon identique.

4.3 *Signal processing*

4.3.1 *General*

The functions of the signal processing unit are to:

- improve the ratio of signal strength to stationary background noise by means of band-pass filtering;
- provide the non-filtered signals and/or filtered signals for external processing;
- process the signals so that they are suitable for signal display and signal monitoring.

All units shall have adequate dynamic range and a frequency response commensurate with the overall requirements. If a digital technique is used the requirements shall be met to an equivalent extent. These requirements can be fulfilled in various ways. The signal processing unit normally consists of the modules below.

4.3.2 *Band-pass filters*

The requirements which should be fulfilled by the band-pass filters are:

- filter steepness: 24 dB/octave;
- filter top linearity: ± 1 dB;
- pass-band and cut off frequencies adjustable within the pass band defined in 4.1.

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

4.3.3 *External output signal*

External signal output units should provide output signals which are decoupled and isolated and able to withstand short 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.

4.3.4 *Display amplifier*

If a display amplifier is provided, it should be possible to vary its amplification in at least four steps of approximately 10 dB each. If the signal monitoring unit is connected in series with the amplifier, the absolute alarm level of the signal monitoring should not be allowed to vary if the amplification is modified. Therefore it is recommended that the signal monitoring unit be connected directly to the band-pass filter.

4.4 *Signal display*

4.4.1 *General*

The functions of the signal display unit are to:

- indicate the level of background noise and of the signals used for the functional tests;
- record the signals in such a way that the parameters needed for the interpretation of the events can be derived. The burst forms of the signals are especially important for precise determination of the rising edges and the delay differences as explained in annex A;
- enable subjective evaluation by human listening.

In analogue technology, the signal display unit normally consists of the modules below. If digital technology is used, the requirements shall be met to an equivalent extent.

4.4.2 Surveillance du bruit de fond

Une méthode de surveillance du bruit de fond des signaux émis par les capteurs doit être prévue. Cela peut être réalisé soit en utilisant le signal brut, l'enveloppe du signal ou la valeur efficace (RMS) du signal. L'indicateur de valeur efficace (r.m.s. en anglais) peut être utilisé pour estimer le niveau de bruit de fond et des 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 sa sélection).

Les prescriptions minimales qui doivent être remplies par l'indicateur sont :

- bande de fréquences: entre f_a et f_b (f_a et f_b sont définies en 4.1);
- facteur de crête: supérieur à 5;
- précision: meilleure que 10 % de la pleine échelle;
- temps d'intégration: entre 1 s et 10 s.

4.4.3 Surveillance de la valeur de crête

On peut prévoir des dispositifs de surveillance de la valeur de crête des signaux de capteurs. Les moniteurs de valeur crête sont utilisés pour détecter la présence d'impacts potentiels. Leur conception doit, en principe, être prévue de façon à pouvoir surveiller la valeur de crête de tout signal dans la bande passante f_a à f_b .

4.4.4 Unités d'enregistrement et de stockage

Quelle que soit la méthode utilisée, il faut veiller à la compatibilité avec le matériel de numérisation et de traitement ultérieur des données.

Il doit en principe être possible d'enregistrer le signal de tous les sous-ensembles de mesure dans le domaine des fréquences entre f_a et f_b définies en 4.1. Cependant, la bande de fréquences minimale doit être de 1 kHz à 10 kHz. L'unité d'enregistrement peut être conçue de manière à permettre l'enregistrement simultané de toutes les voies de mesure. Une autre méthode consiste à choisir d'abord les sous-ensembles de mesure sur lesquelles aura lieu un enregistrement simultané. Dans ce cas, on choisira des voies de mesure représentatives de chaque zone surveillée.

En cas de dépassement du niveau d'alarme, il doit être possible d'enregistrer automatiquement au moins les canaux sensibles au phénomène, cela pendant une durée prédéterminée.

Les unités d'enregistrement numériques présentent des avantages particuliers pour l'analyse des signaux et l'interprétation (voir annexe A) tels que haute résolution temporelle, prédéclenchement, traitements différés de données.

Les performances minimales pour ces unités d'enregistrement numériques sont :

- convertisseur analogique-numérique 12 bits;
- taux d'échantillonnage par canal capable de couvrir une gamme de fréquences jusqu'à $2,5 f_b$ (comme défini en 4.1.);
- fenêtre temporelle d'au moins 40 ms;
- dispositif de prédéclenchement pour permettre la capture complète du transitoire.

4.4.5 Module de sonorisation

La perception auditive des signaux émis par les capteurs acoustiques est une méthode éprouvée d'évaluation subjective des signaux. Il doit être possible de connecter toute voie de mesure ou tout signal enregistré, à un haut-parleur ou un casque pour une surveillance acoustique.

Les prescriptions minimales qui doivent être remplies sont :

- bande de fréquences: bande passante f_a à f_b comme défini en 4.1;
- volume: variable.

4.4.2 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, the signal envelope, or the r.m.s. value of the signal. The r.m.s. monitor (root mean square reading) 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 such that it is possible to display the r.m.s. values of all signals (e.g. r.m.s. voltmeter with selector switch).

The requirements which shall be fulfilled by the r.m.s. monitor are:

- frequency range: between f_a and f_b (f_a and f_b are defined in 4.1);
- peak factor: greater than 5;
- accuracy: better than 10 % full scale;
- integration time: between 1 s and 10 s.

4.4.3 Monitoring peak value

Means of monitoring the peak value of sensors' signals may be provided. The peak value monitors are used for assessment of potential impacts. The design should be such that it is possible to monitor the peak value of any signal in the system pass band f_a to f_b .

4.4.4 Recording and memory units

Whatever method of recording is used, consideration shall be given to compatibility with equipment for digitization and subsequent data processing.

It should be possible to record the signal of any measuring sub-assembly over the frequency range f_a to f_b defined in 4.1. The minimum frequency band, however, shall be 1 kHz to 10 kHz. The recording unit may be designed for simultaneous recording of all measuring sub-assemblies. Alternatively, a method of selecting measuring sub-assemblies for simultaneous recording may be used. If this is done it shall be possible to select representative measuring sub-assemblies from each monitoring area for simultaneous recording.

If an alarm level is exceeded, it shall be possible to record automatically for a preset time at least those channels sensitive to the phenomenon.

Digital recording units have particular advantages for signal analysis and interpretation (see annex A) such as high resolution of time history, pre-triggering, further data processing.

The minimum requirements for digital recorders are:

- 12 bit A/D converter;
- sampling rate per channel able to match a frequency range up to $2,5 f_b$ (as defined in 4.1);
- time window at least 40 ms;
- pre-triggering features to ensure capture of entire waveform.

4.4.5 Audio unit

Human listening to the signals from the acoustic sensors is a well-tried method of subjective evaluation of signals. It shall be possible to connect any measuring sub-assembly or any recorded signal to a loud-speaker or headset for audible monitoring.

The minimum requirements which shall be fulfilled are:

- frequency range: f_a to f_b pass band as defined in 4.1;
- volume: variable.

4.5 Surveillance des signaux

4.5.1 Généralités

Les fonctions de l'unité de surveillance des signaux sont:

- détecter les transitoires associés à des chocs ou dus à des parasites électriques;
- identifier et éliminer les transitoires causés par les parasites électriques ou liés au fonctionnement (par exemple déplacement des barres de contrôle, ouverture ou fermeture de soupape);
- actionner une alarme pour chaque canal séparé jusqu'à acquittement;
- actionner une alarme externe;
- initier un enregistrement ou un stockage automatiques.

4.5.2 Moniteur de niveau d'alarme

La surveillance des signaux est effectuée par une unité qui fournit un signal de sortie logique lorsque le signal surveillé dépasse le niveau d'alarme fixé. Le signal surveillé est par exemple le signal en sortie du filtre passe-bande (point 3 de la figure 4, page 16) ou un paramètre caractérisant de façon adéquate ce signal (valeur efficace pondérée à court terme avec un temps d'intégration de quelques millisecondes). Chaque canal doit disposer d'un moniteur de niveau d'alarme particulier. Il doit être possible d'afficher ou lire le niveau d'alarme et de le faire varier (voir 5.4).

Le moniteur de niveau d'alarme doit pouvoir faire la distinction entre les accroissements d'amplitude temporaires (par exemple ceux causés par les bruits d'origine électrique) et les transitoires. Si le moniteur de niveau d'alarme inclut un dispositif qui élabore un paramètre autre que la valeur efficace court terme pour détecter les transitoires à partir du signal filtré en passe-bande, la relation entre ce paramètre et la valeur efficace ou la valeur de crête doit alors être connue de façon à remplir les conditions fixées en 5.4.

4.5.3 Élément logique

La fonction de l'élément logique est de supprimer les fausses alarmes dues à des sources de bruit connues ou à des combinaisons physiquement non prévisibles (ou des formes) de signaux transitoires dans différents canaux. Sa conception doit être telle qu'en cas de dépassement d'un niveau d'alarme survenant en même temps que des événements acoustiques élémentaires liés au fonctionnement (par exemple déplacement des barres de contrôle, activation de soupape), il ne se produira aucune alarme. Le signal de sortie logique issu du moniteur de niveau d'alarme, après passage (ou non) au travers de l'élément logique, active l'unité d'alarme interne et, via une interface, l'alarme externe. Il déclenche alors l'enregistrement ou le stockage des signaux.

4.5.4 Unité d'alarme interne

Les signaux de sortie logiques, issus du moniteur de niveau d'alarme, et qui franchissent l'élément logique, doivent entraîner une alarme séparée pour chaque canal. Les alarmes doivent rester enclenchées jusqu'à ce qu'elles aient été acquittées.

4.5.5 Interface avec l'alarme externe

Une interface doit prévoir un signal de sortie logique pour générer une alarme externe (par exemple en salle de commande) si l'une des alarmes internes est activée.

4.6 Etalonnage

4.6.1 Généralités

Le but de la fonction étalonnage est de:

- vérifier que la chaîne de mise en forme des signaux est correctement réglée;
- vérifier que le capteur acoustique est sensible aux impacts et qu'il est bien raccordé à la structure et au reste de la chaîne;
- évaluer la réponse globale de la chaîne à des impacts connus simulés.

4.5 *Signal monitoring*

4.5.1 *General*

The functions of the signal monitoring are to:

- 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);
- operate an alarm for each separate channel, until it is acknowledged;
- operate an external alarm;
- initiate automatic recording or storing.

4.5.2 *Alarm level monitor*

The signal monitoring is achieved by a unit which supplies a logic output signal when the monitored signal exceeds the set alarm level. The monitored signal is, for instance, the output signal of the bandpass filter (item 3 of figure 4, page 17) or a suitably formed parameter of this signal (e.g. the short term averaged r.m.s. value with an integration time of a few milliseconds). Each channel shall be provided with a particular alarm level monitor. It shall be possible to vary the alarm level and read off its setting (see 5.4).

The alarm level monitor shall be able to distinguish spurious amplitude rises (e.g. such as caused by electrical pick-up) from bursts. If the alarm level monitor includes a feature which forms a parameter other than the short-term averaged r.m.s. value, which is suitable for detecting bursts from the band-passed signal, then the relationship between this parameter and the r.m.s. or peak value shall be known in order to fulfil the conditions specified in 5.4.

4.5.3 *Logic element*

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. 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 (e.g. control rod movement, valve actuation), no alarm will result. The logic output signal of the alarm level monitor allowed to pass through the logic element excites the internal alarm unit and via an interface the external alarm and initiates recording or storing.

4.5.4 *Internal alarm unit*

The logic output signals of the alarm level monitors which are allowed to pass through the logic element shall operate a separate alarm for each channel. Alarms shall remain initiated until they are acknowledged.

4.5.5 *Interface to the external alarm*

An interface shall provide a logic output signal to generate an external alarm (e.g. in the main control room) if one of the internal alarms is actuated.

4.6 *Calibration*

4.6.1 *General*

The purpose of the calibration function is 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 global response of the channel to known simulated impacts.

Trois types de dispositifs peuvent être utilisés, soit en mode automatique pendant le fonctionnement de la centrale, soit en mode discontinu pendant les arrêts de la centrale, ou bien en mode mixte. Ce sont:

- les unités d'étalonnage électriques pour essai du canal de mise en forme du signal à partir de l'entrée ou de la sortie du préamplificateur (voir figure 4, point 13, page 16);
- un générateur d'impacts d'essai (voir figure 4, point 14, page 16) pour l'essai du système complet à l'aide d'impacts reproductibles simulés

4.6.2 Unité d'étalonnage électrique

L'unité d'étalonnage peut être un générateur de tension sinusoïdale. Les prescriptions à observer sont les suivantes:

- la fréquence du signal d'étalonnage doit être ajustable ou fixée dans la gamme f_a à f_b ;
- l'amplitude du signal d'étalonnage doit être ajustable avec une précision de 5 %, sur toute l'étendue de mesure, ou fixée à un ou plusieurs niveaux prédéfinis, par exemple 80 % de la gamme à pleine échelle;
- il doit être possible de vérifier les réglages de niveau d'alarme;
- si l'étalonnage est effectué pendant le fonctionnement de la centrale, lors de l'essai d'un canal, la fonction de surveillance sera maintenue sur les autres canaux.

4.6.3 Générateur d'impacts d'essai.

(Voir 6.5.4.)

4.7 Disponibilité du système

Il convient que dans la conception du système, soient pris en compte les effets du vieillissement, de l'irradiation et toute analyse ou essai nécessaire visant à garantir des performances satisfaisantes.

5 Démarrage initial

5.1 Généralités

Il convient que le démarrage initial du système de détection des corps errants soit effectué en suivant la séquence d'étapes spécifiée ci-dessous, après achèvement de l'installation.

5.2 Essai du système avant le démarrage initial des pompes primaires

Le fonctionnement de tous les canaux du système doit être vérifié (voir 4.6.2). L'amplification doit être ajustée à la sensibilité de chaque capteur acoustique, de sorte que tous les canaux aient nominalelement des sensibilités identiques.

Une fois le circuit primaire rempli d'eau, des impulsions mécaniques (impacts d'essai) doivent, en principe, être appliquées sur l'enveloppe du circuit primaire. Cela permet de contrôler les conditions de propagation du son, l'adaptation des capteurs acoustiques à la structure et leur fonctionnement avec le préamplificateur associé. Ces impacts d'essai ont pour but de vérifier le fonctionnement des canaux.

Donner le détail des méthodes de génération de ces impacts ne présente pas d'intérêt. Cependant, leur énergie doit être telle que, pour un capteur acoustique placé à proximité de l'impact, la valeur de crête du signal transitoire émis par ce capteur doit correspondre à au moins 50 % de la pleine échelle. L'amplification choisie pour le premier essai doit être celle utilisée pour la surveillance en service dans les réacteurs similaires.

Lors d'un impact d'essai, les capteurs acoustiques émettant des signaux transitoires doivent faire l'objet d'un enregistrement simultané.

Il est souhaitable que les données ci-dessous soient rassemblées sous une forme appropriée:

- les résultats de l'inspection visuelle de l'installation;

Three types of devices can be used, either in an automatic mode during operation of the plant, in a non continuous mode, during outages of the plant, or in a mixed mode. They are:

- electrical calibration units for testing the signal processing channel from the preamplifier input or from the signal processing input (see figure 4, item 13, page 17);
- a test impact unit (see figure 4, item 14, page 17) for testing the overall system from simulated reproducible impacts.

4.6.2 *Electrical calibration unit*

The calibration unit may be a sine-wave generator. The following requirements shall be fulfilled:

- the frequency of the calibration signal shall be either adjustable or fixed within the range f_a to f_b ;
- the amplitude of the calibration signal shall be either adjustable with an accuracy of 5%, over the full scale range or fixed at one or several predefined levels, for instance 80 % of the full scale range;
- 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 be maintained during testing of one channel.

4.6.3 *Test impact unit*

(See 6.5.4.)

4.7 *System availability*

The system design should consider the effects of ageing and irradiation, and any necessary analysis or tests in order to assure adequate performance should be performed.

5 Initial startup

5.1 *General*

The initial startup of the loose parts monitoring system should be performed following the sequence of steps specified below after completion of installation.

5.2 *System testing before initial startup of coolant circulating pumps*

The function of all system channels shall be checked (see 4.6.2). The amplification shall be adjusted to the sensitivity of each sound sensor in such a way that all channels have nominally identical sensitivities.

When the primary coolant system has been filled, mechanical pulses (test impacts) 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 purpose of these test impacts to prove that the channels are functioning.

The detailed methods by which they are generated is not important but 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 amplification selected during this first test should be that used for monitoring during operation in comparable reactor plants.

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

The data below should be documented in suitable form:

- results of visual inspection of the installation;

- les résultats des essais fonctionnels électriques;
- les réglages du préamplificateur;
- le mode de génération des impulsions mécaniques;
- les caractéristiques des impacts;
- la position des capteurs acoustiques;
- l'emplacement des points d'impacts;
- les signaux acoustiques pendant les impacts.

Afin de pouvoir réaliser des essais fonctionnels plus tard lors du fonctionnement, des impacts d'essai supplémentaires doivent être initiés en d'autres points accessibles durant les périodes de non fonctionnement du réacteur (voir 6.5.4.).

5.3 Surveillance préliminaire sans niveau 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 du fluide caloporteur. Pendant l'essai fonctionnel à froid de la centrale (pression inférieure à 100 bars), si le système est incapable de détecter automatiquement des événements élémentaires, une surveillance est effectuée par le personnel d'exploitation, en écoutant spécifiquement les signaux individuels au moyen d'un module de sonorisation, tout particulièrement pendant le démarrage de chaque pompe primaire.

Les bruits de fond doivent être enregistrés pendant des phases de fonctionnement du réacteur, choisies *a priori*, par exemple pour des pressions différentes, afin de permettre une comparaison avec les valeurs obtenues empiriquement sur d'autres réacteurs. Les bruits de fond enregistrés pendant ces phases de fonctionnement, seront collectés et commentés sous une forme appropriée.

5.4 Adaptation du système aux prescriptions spécifiques de la centrale

Dès que le réacteur a atteint un état de fonctionnement à partir duquel une surveillance est requise, le système de détection de corps errants est mis en marche et les moniteurs de niveau d'alarme sont réglés. Une surveillance en continu est alors assurée. Le rapport signal sur bruit peut être amélioré à l'aide de filtres passe-bande, lesquels ont pour effet de réduire les effets des bruits liés au fonctionnement du réacteur.

Les réglages des gains et des filtres dépendent du montage capteur et du couplage ainsi que de la méthode de détection d'impact utilisée.

L'algorithme de détection a une action sur l'amplificateur et sur les réglages de l'alarme. Pour les deux méthodes de détection utilisées le plus communément, surveillance de la valeur efficace et de la valeur de crête, les prescriptions sont les suivantes:

Les gains de l'amplificateur doivent en principe être ajustés de telle sorte que l'amplitude du bruit de fond stationnaire corresponde à une fraction de la pleine échelle en choisissant:

- a) lorsque l'on surveille le paramètre valeur efficace court terme, la valeur efficace long terme du bruit de fond stationnaire doit être comprise entre 3 % et 15 % de la pleine échelle;
- b) lorsque l'on surveille le paramètre valeur de crête du signal, la valeur de crête du bruit de fond stationnaire doit être comprise entre 2 % et 5 % de la pleine échelle.

Ce pourcentage de l'amplitude à pleine échelle garantit que les niveaux d'alarme peuvent être réglés avec une marge suffisante au-dessus du bruit de fond stationnaire et qu'il existe une plage suffisante pour enregistrer des transitoires d'amplitude supérieure au niveau d'alarme.

Si aucun amplificateur (point 5 de la figure 4, page 16) n'est utilisé dans le système, la gamme dynamique des canaux de mesure doit en principe être au moins de 48 dB.

Il convient que les moniteurs de niveau d'alarme puissent être réglés individuellement. Le mode de réglage initial peut être basé:

- a) soit sur un réglage de niveau d'alarme de six fois l'écart type (valeur efficace long terme) du bruit de fond stationnaire, dans le cas de surveillance du paramètre valeur efficace court terme,

- results of the electrical functions test;
- preamplifier settings;
- mode of generation of the mechanical pulses;
- characteristics of the impacts;
- position of the sound sensors;
- location of the points of impacts;
- sound signals during the impacts.

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 6.5.4).

5.3 Preliminary monitoring without alarm levels

Monitoring of the primary coolant system for loose parts shall be ensured from the initial startup of the coolant circulating pumps onwards. During the cold functional test of the plant (pressure under 100 bars), if the system is unable to detect single sound events automatically, surveillance is performed by the operating staff specifically listening to the individual signals by means of the audio unit, especially during the startup of each coolant circulation pump.

The background noises shall be recorded for 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 suitable form.

5.4 Adapting the system to specific plant requirements

When the operating state at which the reactor plant is to be monitored has been reached, the loose parts detection system should be put into continuous monitoring operation and the alarm level monitors set. An optimized signal-to-noise ratio can be obtained by using the band pass filters to reduce the effects of operation related noise.

The system amplification and filter settings depend on transducer mounting and coupling, as well as on the impact detection method used.

The applied detection algorithm influences the amplifier and the alarm settings. For the two most common detection methods, r.m.s. and peak value monitoring, the requirements are the following:

The amplifier gains should be set such that stationary background noise produces a fraction of the full scale amplitude by selection of either:

- a) between 3 % and 15 % based on the (long-term averaged) r.m.s. value of stationary background noise, in the case of short-term averaged r.m.s. value monitoring, or
- b) between 2 % and 5 % based on the peak value of stationary background noise, in the case of peak value monitoring.

This fraction of the full-scale amplitude ensures that the alarm levels can be set with a sufficient margin above stationary background noise and that sufficient range exists for recording bursts greater than the alarm level.

If no amplifier (item 5 of figure 4, page 17) is used in the system, the dynamic range of the measuring channels should be at least 48 dB.

The alarm monitors should be able to be set individually. The initial setting process may be based on either:

- a) an alarm setting of about six times the standard deviation of the stationary background noise (i.e. long-term averaged r.m.s. value), in the case of short-term averaged r.m.s. value monitoring, or

b) soit sur un réglage de déclenchement à environ deux à trois fois la valeur de crête du bruit de fond stationnaire dans le cas de surveillance du paramètre valeur de crête.

Des réglages plus ou moins sensibles peuvent être nécessaires afin de faciliter la suppression d'alarmes intempestives. Le réglage des filtres passe-bandes et du gain de l'amplificateur peut être utilisé à cet effet. Il doit être possible d'ajuster les réglages du niveau d'alarme de façon que les impacts d'essai déclenchent les alarmes.

Si le bruit de fond stationnaire varie pendant le fonctionnement, comme par exemple après la mise en marche de la centrale, les réglages du niveau d'alarme doivent pouvoir, en principe, être modifiés. Il est préférable que cela soit fait automatiquement par le système (par exemple au moyen de seuils variables ou d'amplificateurs à gain programmable).

Les données ci-dessous doivent être rassemblées sous une forme convenable:

- réglage du filtre passe-bande;
- réglage du moniteur de niveau d'alarme;
- bruit de fond stationnaire obtenu selon les réglages du filtre passe-bande et les gains de l'amplificateur.

De plus, on doit réaliser des enregistrements de référence de tous les événements acoustiques élémentaires de nature déterministe et reproductible, liés au fonctionnement.

6 Programme de surveillance

6.1 Généralités

La surveillance acoustique de l'enveloppe sous pression du fluide caloporteur est établie quand:

- le système de surveillance est capable de fonctionner;
- les niveaux d'alarme ont été fixés;
- les étapes définies ci-dessous pour le début de la surveillance ont été accomplies.

La surveillance commence après le démarrage initial (voir article 5) et comprend la surveillance continue, les essais fonctionnels discontinus et les enregistrements de référence.

Les conditions préalables au début de la surveillance sont les suivantes :

- le démarrage initial doit être terminé;
- les enregistrements de référence doivent être disponibles:
 - . sur les événements acoustiques élémentaires liés au fonctionnement,
 - . sur les impacts d'essai,
 - . sur le bruit de fond stationnaire;
- aucune modification non autorisée ne peut être effectuée en ce qui concerne les propriétés du système.

La surveillance automatique est complétée par une écoute régulière des signaux individuels. L'évaluation est ainsi effectuée par une comparaison objective et subjective des signaux réels des capteurs acoustiques ou de leurs paramètres avec les signaux ou leurs paramètres stockés comme valeurs de référence. De plus, certaines mesures doivent être effectuées manuellement, certaines d'entre elles sont universellement reconnues et décrites en 6.3 et 6.4, tandis que d'autres sont liées à la centrale.

Ces procédures ont pour but de garantir la possibilité d'obtenir, dans un laps de temps raisonnable, une conclusion sur le déclenchement d'une alarme par un corps errant et sur ses conséquences pour le système. Il y a lieu qu'un programme de formation soit établi pour permettre l'utilisation des systèmes par un personnel responsable, étant donné l'aspect subjectif du jugement.

- b) a trigger setting of about two to three times the peak value of the stationary background noise in the case of peak value monitoring.

More or less sensitive settings may be appropriate to optimize the suppression of spurious alarms. The setting of the band pass filters and amplifier gain can be used for this. It shall be possible to adjust the alarm settings so that the test impacts trigger the alarms.

If the stationary background noise changes during operations such as plant startup, it should be possible to change the alarm level settings. Preferably this may be done automatically by the system (e.g. floating thresholds or automatically gain controlled amplifiers)

The data below shall be documented in suitable form:

- the band-pass filter setting;
- the alarm level monitor setting;
- stationary background noise following setting of the band-pass filter and amplifier gains.

In addition, reference recordings shall be made of any operation-related single sound event which is of deterministic nature and is reproducible.

6 Surveillance programme

6.1 General

The acoustic monitoring of the pressure-retaining boundary of the reactor coolant is established when:

- the surveillance system is capable of functioning;
- the alarm levels have been set;
- the preconditions for commencing monitoring described below have been performed.

Monitoring commences after initial startup (see clause 5) and comprises continuous monitoring, discontinuous functional tests and reference recordings.

The preconditions for commencing monitoring are as follows:

- initial startup shall be completed;
- reference recordings shall be available on:
 - . operation-related single sound events,
 - . test impacts,
 - . stationary background noise;
- no non-permitted changes may have occurred in system properties.

The automatic monitoring is supplemented by regular audible monitoring of individual signals. The assessment is thus 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 values. In addition, certain measures shall be performed manually, some of these are universally valid and described in 6.3 and 6.4 whereas others are plant-related.

These procedures are intended to ensure that a conclusion on whether an alarm has been initiated by a loose part and on the resulting consequences for the system can be reached within a reasonable period of time. A training program should be established for the use of the systems by responsible personnel since aspects of subjective judgment are concerned.

6.2 Enregistrements de référence

Des enregistrements de référence sont à effectuer pour permettre l'évaluation des signaux acoustiques réels et permettre l'interprétation de tout écart par rapport à la normale.

Il y a deux types d'enregistrements:

- l'enregistrement de référence pendant l'arrêt du réacteur de la centrale (pour les impacts d'essai, voir 6.5.4);
- l'enregistrement de référence pendant le fonctionnement du réacteur (bruits de fonctionnement).

Les enregistrements de référence pendant le fonctionnement du réacteur servent de base à l'interprétation des variations observées dans les signaux acoustiques.

Les facteurs à respecter pour les enregistrements sont les suivants:

- les valeurs efficaces ou valeurs de crête de tous les canaux actifs doivent être relevées et enregistrées;
- un enregistrement magnétique doit en principe être effectué sur tous les canaux avec une dynamique d'au moins 50 dB et une erreur maximale autorisée sur la mesure de l'amplitude de ± 5 %.

Un enregistrement doit être fait dans chaque cas en utilisant l'enregistreur du système de surveillance.

Après des périodes prolongées de non fonctionnement, c'est-à-dire lors des rechargements du cœur du réacteur, des enregistrements de référence doivent être faits à la suite du redémarrage du réacteur.

6.3 Mesures pendant le fonctionnement sans alarme

Le personnel d'exploitation doit écouter tous les canaux en surveillance et effectuer des enregistrements à intervalles réguliers, déterminés pour chaque centrale particulière. Si l'on met en évidence des modifications significatives du bruit, les observations subjectives doivent être notées et un enregistrement sera effectué puis analysé pour tous les canaux. Une décision devra être prise s'il y a lieu d'effectuer un enregistrement de référence.

6.4 Mesures consécutives à une alarme

Les procédures à effectuer suite à une alarme sont les suivantes:

- a) noter les canaux pour lesquels l'unité d'alarme interne a été déclenchée;
- b) reconnaître les alarmes et les acquitter;
- c) déterminer si de nouvelles alarmes ont été déclenchées, et les localiser;
- d) faire les enregistrements magnétiques, graphiques ou autres;
- e) confirmer le bon fonctionnement du système et des enregistreurs;
- f) écouter les canaux;
- g) évaluer les enregistrements et en faire de nouveaux pour tous les sous-ensembles de mesure ou pour des voies spécifiques, en particulier dans le cas où des modifications notables se produiraient pendant l'écoute (voir annexe A);
- h) évaluer les enregistrements et en estimer les résultats.

D'autres mesures indiquées dans l'annexe A doivent en principe être décidées conformément aux directives de chaque centrale.