

**RAPPORT  
TECHNIQUE**

**TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC**

**60854**

Première édition  
First edition  
1986-10

---

---

**Méthodes de mesure des caractéristiques  
des appareils à impulsions ultrasonores  
utilisés pour le diagnostic**

**Methods of measuring the performance  
of ultrasonic pulse-echo diagnostic equipment**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60854: 1986

## Numéros des publications

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

## Publications consolidées

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

## Validité de la présente publication

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

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

Les renseignements relatifs à 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* (VEI).

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

\* 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.

RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT

CEI  
IEC  
60854

Première édition  
First edition  
1986-10

---

---

**Méthodes de mesure des caractéristiques  
des appareils à impulsions ultrasonores  
utilisés pour le diagnostic**

**Methods of measuring the performance  
of ultrasonic pulse-echo diagnostic equipment**

© IEC 1986 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembe Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto: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
PRÉAMBULE . . . . .	4
PRÉFACE . . . . .	4
Articles	
1. Domaine d'application . . . . .	6
2. Objet . . . . .	6
3. Définitions . . . . .	6
4. Fréquence acoustique . . . . .	12
4.1 Généralités . . . . .	12
4.2 Mesure de la fréquence de fonctionnement . . . . .	12
5. Aptitude à la détection des échos . . . . .	14
5.1 Généralités . . . . .	14
5.2 Méthode de mesure . . . . .	14
6. Variation du gain en fonction de la distance . . . . .	18
6.1 Généralités . . . . .	18
6.2 Méthode de mesure . . . . .	18
7. Caractéristiques des divers modes de visualisation . . . . .	18
7.1 Généralités . . . . .	18
7.2 Présentation en mode A . . . . .	20
7.3 Présentation en mode B . . . . .	20
8. Résolution géométrique . . . . .	20
8.1 Généralités . . . . .	20
8.2 Mesure de la résolution axiale en mode A . . . . .	22
8.3 Mesure de la résolution latérale en mode A . . . . .	24
8.4 Mesures de résolution avec présentation en mode B . . . . .	24
9. Précision de l'alignement géométrique . . . . .	26
9.1 Généralités . . . . .	26
9.2 Etalonnage en profondeur . . . . .	26
9.3 Alignement en balayage de type B . . . . .	28
ANNEXE A – Cibles et interfaces de référence . . . . .	30
ANNEXE B – Atténuateur haute fréquence . . . . .	38
ANNEXE C – Fréquence de fonctionnement . . . . .	42
ANNEXE D – Références . . . . .	46

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	5
PREFACE . . . . .	5
Clause	
1. Scope . . . . .	7
2. Object . . . . .	7
3. Definitions . . . . .	7
4. Acoustic frequency . . . . .	13
4.1 General . . . . .	13
4.2 Measurement of working frequency . . . . .	13
5. Echo detection capability . . . . .	15
5.1 General . . . . .	15
5.2 Measurement method . . . . .	15
6. Gain-range dependence . . . . .	19
6.1 General . . . . .	19
6.2 Measurement method . . . . .	19
7. Display characteristics . . . . .	19
7.1 General . . . . .	19
7.2 A-mode displays . . . . .	21
7.3 B-mode displays . . . . .	21
8. Geometrical resolution . . . . .	21
8.1 General . . . . .	21
8.2 Axial resolution measurement — A-mode . . . . .	23
8.3 Lateral resolution measurement — A-mode . . . . .	25
8.4 Resolution measurement — B-mode displays . . . . .	25
9. Geometrical alignment accuracy . . . . .	27
9.1 General . . . . .	27
9.2 Depth calibration . . . . .	27
9.3 B-scan alignment . . . . .	29
APPENDIX A — Reference targets and interfaces . . . . .	31
APPENDIX B — High-frequency attenuator . . . . .	39
APPENDIX C — Working frequency . . . . .	43
APPENDIX D — References . . . . .	47

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

**MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES  
DES APPAREILS À IMPULSIONS ULTRASONORES  
UTILISÉS POUR LE DIAGNOSTIC**

---

PRÉAMBULE

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

PRÉFACE

Le présent rapport a été établi par le Sous-Comité 29D: Ultrasons, du Comité d'Etudes n° 29 de la CEI: Electroacoustique.

Le texte de ce rapport est issu des documents suivants:

Règle des Six Mois	Rapport de vote
29D(BC)16	29D(BC)23

Pour de plus amples renseignements, consulter le rapport de vote mentionné dans le tableau ci-dessus.

*Les publications suivantes de la CEI sont citées dans le présent rapport:*

- Publications n<sup>os</sup>
- 27: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique.
  - 50(801) (1984): Vocabulaire Electrotechnique International (VEI), Chapitre 801: Acoustique et électroacoustique.
  - 263 (1982): Echelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires.

*Autre publication citée:*

- Norme ISO 31/2 (1978): Grandeurs et unités de phénomènes périodiques et connexes.
-

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**METHODS OF MEASURING  
THE PERFORMANCE OF ULTRASONIC PULSE-ECHO  
DIAGNOSTIC EQUIPMENT**

---

## FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by the 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.

## PREFACE

This report has been prepared by Sub-Committee 29D: Ultrasonics, of IEC Technical Committee No. 29: Electroacoustics.

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

Six Months' Rule	Report on Voting
29D(CO)16	29D(CO)23

Further information can be found in the Report on Voting indicated in the table above.

*The following IEC publications are quoted in this report:*

- Publications Nos.            27: Letter Symbols to be Used in Electrical Technology.  
                                  50(801) (1984): International Electrotechnical Vocabulary (IEV). Chapter 801: Acoustics and Electroacoustics.  
                                  263 (1982): Scales and Sizes for Plotting Frequency Characteristics and Polar Diagrams.

*Other publication quoted:*

- ISO Standard 31/2 (1978): Quantities and Units of Periodic and Related Phenomena.
-

## MÉTHODES DE MESURE DES CARACTÉRISTIQUES DES APPAREILS À IMPULSIONS ULTRASONORES UTILISÉS POUR LE DIAGNOSTIC

---

### 1. **Domaine d'application**

Le présent rapport définit des paramètres et expose des méthodes pour mesurer les caractéristiques fonctionnelles des appareils de diagnostic médical à impulsions ultrasonores qui utilisent des transducteurs à un seul élément et sont conçus pour fonctionner dans la plage de fréquences acoustiques qui s'étend de 0,5 MHz à 25 MHz. Les appareils à effet Doppler sont exclus du domaine d'application du présent rapport.

### 2. **Objet**

Le présent rapport a pour objet d'établir des bases acceptées de manière générale pour mesurer et déterminer les paramètres principaux de fonctionnement des équipements complets servant au diagnostic. En particulier, les méthodes de mesure et les paramètres de fonctionnement spécifiés ont été choisis de manière à établir une base de comparaison entre des appareils semblables de constructions différentes et destinés à des diagnostics de même nature. D'autre part, les séries de résultats et de valeurs obtenues par les méthodes recommandées doivent fournir des critères utiles permettant de prévoir le comportement du matériel dans des applications diagnostiques appropriées. Pour que ces recommandations puissent être d'une application générale, on a prescrit des méthodes dont la mise en œuvre n'exige pas de matériel exceptionnel ou coûteux. Lorsqu'un appareillage de diagnostic de base est susceptible de recevoir plusieurs versions d'un élément constitutif particulier au système, comme le transducteur par exemple, chaque version est à considérer comme un système séparé au sens du présent rapport.

La partie principale de ce rapport est divisée en six articles, chacun définissant un paramètre (ou ensemble de paramètres) de fonctionnement propre au système et exposant les procédés de mesure appropriés.

Des annexes indiquent les données nécessaires quand certains principes, équipements et méthodes de mesure apparaissent dans deux ou plusieurs articles de ce rapport.

Il est prévu de traiter de la mesure des niveaux de sortie acoustique des appareils de diagnostic dans une autre publication. En conséquence, cette mesure est spécifiquement exclue de ce rapport.

### 3. **Définitions**

Les symboles littéraux, la terminologie, l'échelle et le format des représentations graphiques des données doivent être conformes à la Publication 27 de la CEI: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique, la Publication 50(801) de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International, Chapitre 801: Acoustique et électroacoustique, la Publication 263 de la CEI: Echelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires, et la Norme ISO 31/2: Grandeurs et unités de phénomènes périodiques et connexes.

#### 3.1 *Elément transducteur*

Elément matériel spécifique permettant de convertir de l'énergie électrique en énergie mécanique et réciproquement.

## METHODS OF MEASURING THE PERFORMANCE OF ULTRASONIC PULSE-ECHO DIAGNOSTIC EQUIPMENT

---

### 1. Scope

This report defines parameters and outlines test methods for measuring performance of pulse-echo medical diagnostic systems that employ single-element transducers and operate in the 0.5 MHz to 25 MHz acoustic frequency range. Doppler ultrasound systems are not within the scope of this report.

### 2. Object

To provide a generally acceptable basis for measuring and reporting the principal performance parameters of complete diagnostic systems. In particular, the performance parameters specified, and the corresponding methods of measurement, have been chosen in order to provide a basis for comparison between similar apparatus of different makes intended for the same kind of diagnostic application. Furthermore, it is intended that the set of results and values obtained from the use of the recommended methods will provide useful criteria for predicting the performance of equipment in appropriate diagnostic applications. In order that the recommendations should be suitable for general applications, methods have been specified which do not require unusual and expensive equipment for their implementation. Where one basic diagnostic system accommodates more than one option in respect of a particular system component, such as the transducer, it is intended that, wherever appropriate, each option be regarded as a separate system for the purpose of this report.

The main part of this report consists of six clauses, in each of which a specific system performance parameter (or set of related parameters) is defined and appropriate measuring procedures are outlined.

Necessary data relating to certain measuring methods, principles and equipment that are common to two or more clauses are given in the appendices.

The measurement of levels of acoustic output of diagnostic apparatus is intended to be dealt with in another publication and is therefore specifically excluded from this report.

### 3. Definitions

Letter symbols, terminology and scales and sizes of graphic data representation shall be in accordance with IEC Publication 27: Letter Symbols to be Used in Electrical Technology, IEC Publication 50(801): International Electrotechnical Vocabulary, Chapter 801: Acoustics and Electroacoustics, IEC Publication 263: Scales and Sizes for Plotting Frequency Characteristics and Polar Diagrams and ISO Standard 31/2: Quantities and Units of Periodic and Related Phenomena.

#### 3.1 *Transducer element*

A specific material element capable of converting electrical energy to mechanical energy and reciprocally converting mechanical energy to electrical energy.

### 3.2 *Transducteur*

Dispositif recevant le signal d'un système et fournissant à un autre système un signal correspondant à celui qu'il reçoit (voir Publication 50(801) de la CEI, Section 05: Paramètres des transducteurs (à l'étude), les termes: Transducteur, transducteur réversible, transducteur réciproque).

Dans le cadre de ce rapport, le terme transducteur désigne un ensemble mécanique complet qui peut comprendre l'élément transducteur ainsi que les dispositifs d'amortissement et d'adaptation des impédances mécaniques et électriques.

### 3.3 *Distance normale de fonctionnement*

Pour un transducteur travaillant dans l'eau, c'est la distance entre la face de l'élément transducteur et le point de pression acoustique maximale du faisceau le plus éloigné du transducteur dans l'axe de celui-ci. Pour un élément transducteur circulaire plan, cette distance est donnée approximativement par  $a^2/\lambda$ , formule dans laquelle  $\lambda$  est la longueur d'onde du son dans l'eau qui correspond à la fréquence de fonctionnement et  $a$  est le rayon de la zone circulaire métallisée de l'élément transducteur.

### 3.4 *Axe acoustique principal*

Droite (tracée suivant les règles de régression) qui unit les points pour lesquels l'amplitude de la pression mesurée dans le faisceau ultrasonore est maximale.

Dans le cas d'un transducteur non focalisant, ces points sont choisis à intervalles réguliers dans la plage comprise entre une et deux fois la distance normale de fonctionnement.

Dans le cas d'un transducteur focalisant (ou dont les conditions de focalisation sont inconnues), les points sont choisis à intervalles réguliers dans la zone du faisceau qui s'étend de part et d'autre de la distance normale de fonctionnement (mais pas au-delà du double de cette distance), zone pour laquelle le niveau mesuré des lobes latéraux du faisceau est inférieur d'au moins 10 dB à l'amplitude centrale maximale de pression.

### 3.5 *Champ lointain*

Région d'un champ ultrasonore non focalisé située à une distance de la source supérieure à la distance normale de fonctionnement.

*Note.* — C'est la région du champ où pression acoustique et vitesse des particules sont pratiquement en phase (voir VEI 801-03-30).

### 3.6 *Champ proche*

Région d'un champ ultrasonore non focalisé située à une distance de la source inférieure à la distance normale de fonctionnement.

*Note.* — C'est la région du champ où pression acoustique et vitesse des particules ne sont pas en phase (voir VEI 801-03-29).

### 3.7 *Fréquence nominale*

Fréquence ultrasonore de fonctionnement du système déclarée par le concepteur ou le constructeur (voir annexe C).

### 3.8 *Fréquence centrale*

Fréquence pour laquelle la puissance acoustique de sortie d'un transducteur à fréquence d'excitation variable est maximale, l'amplitude de la tension d'excitation demeurant constante. Le niveau acoustique de sortie d'un transducteur est mesuré dans le champ lointain à l'aide d'un hydrophone.

### 3.2 *Transducer*

Device designed to receive a signal from one system and supply a signal to another in such manner that the desired characteristics of the input signal appear at the output. (See IEC Publication 50(801), Section 05: Transducer parameters (under consideration), terms: transducer, reversible transducer, reciprocal transducer.)

For the present purposes, the term transducer denotes a complete mechanical assembly which may include the transducer element and mechanical and electrical damping and matching provisions.

### 3.3 *Standard working distance*

For a transducer working in water, this is the distance between the face of the transducer element and the last maximum in the axial beam sound pressure which occurs when moving away from the transducer. For a plane, circular transducer element without any focusing device this is given approximately by  $a^2/\lambda$ , where  $\lambda$  is the wavelength of sound in water corresponding to the working frequency and  $a$  is the radius of the metallized circle area of the transducer element.

### 3.4 *Principal acoustic axis*

A straight line (calculated according to regression rules) joining points of spatial peak pressure amplitude measured in an ultrasonic beam at distances beyond the standard working distance.

In the case of a beam due to an unfocused transducer, such points shall be chosen as being evenly spaced over the range between one and two times the standard working distance.

In the case of a focused transducer (or one for which the focusing status is unknown), the points shall be chosen as being evenly spaced in that region of the beam, on either side of the standard working distance (but no more than two times that distance), for which the measured level of any side lobe of the beam is at least 10 dB below the central maximum of pressure amplitude.

### 3.5 *Far field*

Region of an unfocused field at distances from the source greater than the standard working distance.

*Note.* — This is the region of the sound field where instantaneous sound pressure and particle velocity are substantially in phase. (See IEV 801-03-30.)

### 3.6 *Near field*

Region of an unfocused ultrasonic field at distances from the source smaller than the standard working distance.

*Note.* — This is the region of the sound field where instantaneous sound pressure and particle velocity are substantially out of phase. (See IEV 801-03-29.)

### 3.7 *Nominal frequency*

The ultrasonic frequency of operation of a system as quoted by the designer or manufacturer. (See Appendix C.)

### 3.8 *Centre frequency*

The frequency at which the acoustic output of a transducer is maximal, with respect to variable driving frequency, under conditions of constant amplitude voltage drive. Acoustic output is measured with a probe hydrophone in the far field of the transducer.

### 3.9 *Fréquence de fonctionnement*

Fréquence de passage à zéro, mesurée aux bornes du transducteur, de l'écho reçu après réflexion sur une interface plane normale de réflexion orientée de façon que l'amplitude de l'écho soit maximale (voir paragraphe 4.2).

*Note.* — La fréquence de fonctionnement est généralement caractéristique d'un système plus que du transducteur seul, car elle est habituellement très influencée par la nature des impulsions excitatrices.

### 3.10 *Interface plane idéale de réflexion*

Interface plane parfaitement réfléchissante, normale à l'axe acoustique principal du transducteur immergé dans de l'eau distillée et dégazée à la température de 25 °C; son coefficient de réflexion vaut 1.

### 3.11 *Interface plane normale de réflexion*

Interface plane séparant deux milieux différents et qui remplit les conditions du point a) de l'article A2 de l'annexe A.

### 3.12 *Aptitude à la détection des échos*

Différence (exprimée en décibels) entre le niveau d'un écho obtenu à partir d'une interface plane idéale de réflexion et le niveau de crête du bruit ou des signaux parasites présents en même temps que cet écho.

Si l'on donne une valeur de l'aptitude à la détection des échos sans autre précision, cette valeur correspond à la position de la cible placée sur l'axe acoustique principal à la distance normale de fonctionnement.

### 3.13 *Compensation du gain en fonction du retard (TGC)*

Variation du gain de l'amplificateur introduite en fonction du retard d'écho pour compenser l'affaiblissement d'amplitude de ce dernier.

### 3.14 *Echelle de gris*

Gamme de valeurs de luminosité d'image. Elle peut être continue entre deux valeurs extrêmes ou discontinues, auquel cas trois valeurs distinctes doivent au minimum être représentées.

### 3.15 *Résolution axiale*

C'est, pour un milieu de propagation pour lequel la vitesse du son vaut environ 1540 m.s<sup>-1</sup> ou toute autre valeur spécifiée (voir annexe A, article A1), la moitié de la distance équivalente entre les deux points extrêmes de l'enveloppe linéairement interpolée de l'écho d'une petite cible sphérique présenté en mode A redressé, le niveau des deux points étant inférieur de 6 dB au niveau de crête de l'enveloppe d'écho.

### 3.16 *Résolution latérale*

Distance orthogonale à l'axe acoustique principal comprise entre deux points situés de part et d'autre du point de réponse maximale et pour lesquels la réponse du système à échos d'impulsions est à un niveau inférieur de 6 dB au niveau de crête.

### 3.17 *Présentation en modulation d'amplitude (mode A)*

Méthode de présentation des informations fournies par les échos dans laquelle on représente la distance transducteur-cible sur un axe (habituellement l'axe horizontal) et l'amplitude sur l'autre axe.

### 3.9 *Working frequency*

The measured, zero-crossing frequency, observed at the terminals of the transducer, of the echo received from a working standard plane echo interface oriented for maximum echo amplitude (see Sub-clause 4.2).

*Note.* — Working frequency is generally a characteristic of a system rather than of a transducer alone, since it will usually be strongly influenced by the nature of the excitation pulse.

### 3.10 *Ideal plane echo interface*

A perfectly reflecting plane interface oriented normal to the principal acoustic axis with the transducer immersed in degassed, distilled water at 25 °C. The reflection coefficient of the ideal plane echo interface is equal to 1.

### 3.11 *Working standard plane echo interface*

A plane interface between two different media, satisfying the criteria listed in Item *a)* of Clause A2 of Appendix A.

### 3.12 *Echo detection capability*

The difference (expressed in decibels) between the echo level due to an ideal plane echo interface and the peak level of noise or spurious signals arising simultaneously with the echo.

If a value of echo detection capability is quoted without qualification this will relate to the position of the target on the principal acoustic axis that corresponds to the standard working distance.

### 3.13 *Time gain compensation (TGC)*

Change in amplifier gain with time introduced to compensate for loss in echo amplitude.

### 3.14 *Grey scale*

A range of values of image brightness, being either continuous between two extreme values or, if discontinuous, including at least three discrete values.

### 3.15 *Axial resolution*

Half the equivalent distance, in a propagation medium with sound velocity about 1540 m.s<sup>-1</sup> or otherwise as specified (see Appendix A, Clause A1), between the two points, most widely separated on a linearly interpolated envelope of a rectified A-mode echo of a small ball target, whose level is -6 dB relative to the peak level of the echo envelope.

### 3.16 *Lateral resolution*

The distance, across the principal acoustic axis, between the two points furthest on each side from the point of maximum response at which the response of a pulse echo system is at a level of -6 dB relative to the maximum.

### 3.17 *Amplitude modulated display (A-mode)*

A method of data presentation of echo information in which transducer to target distance is represented on one axis (generally horizontal) and echo amplitude on the other axis.

### 3.18 *Présentation en modulation de luminosité (mode B)*

Méthode de présentation des informations fournies par les échos dans laquelle on représente de manière conforme une coupe particulière d'un objet image suivant un plan de visualisation et l'amplitude d'écho par la luminosité locale ou par la densité optique de l'image.

### 3.19 *Présentation dynamique en fonction du temps (mode M)*

Méthode de présentation des informations fournies par les échos dans laquelle l'amplitude d'écho est représentée par la luminosité locale ou la densité optique de l'image, la distance transducteur-cible est représentée sur un axe (habituellement vertical) orthogonal à l'axe représentant le temps.

### 3.20 *Balayage de type A*

Type de géométrie d'acquisition des données selon une dimension, dans lequel l'information fournie par les échos est obtenue à partir des points situés le long d'un unique axe acoustique principal.

### 3.21 *Balayage de type B*

Type de géométrie d'acquisition des données dans lequel l'information fournie par les échos est obtenue à partir de points situés dans le plan exploré ou dans toute autre section contenant l'axe acoustique principal d'exploration.

### 3.22 *Balayage de type C*

Type de géométrie d'acquisition des données dans lequel l'information fournie par les échos est obtenue à partir de points situés dans le plan exploré ou dans toute autre section coupant l'axe acoustique principal.

## 4. **Fréquence acoustique**

### 4.1 *Généralités*

La fréquence acoustique utilisée dans un appareillage de diagnostic affecte son fonctionnement de deux manières principales:

- a) résolution axiale et latérale (voir article 8),
- b) coefficient d'affaiblissement dans les tissus vivants (voir article A1).

Le paragraphe 4.2 donne une méthode de mesure de la fréquence de fonctionnement. Alors que cette grandeur est considérée comme plus appropriée au but recherché que la fréquence nominale, les problèmes posés par les tentatives d'exprimer cet aspect du fonctionnement par une seule grandeur sont évoqués dans l'annexe C.

### 4.2 *Mesure de la fréquence de fonctionnement*

La fréquence de fonctionnement doit être mesurée de la manière suivante en utilisant le matériel et les méthodes indiquées dans les annexes A et B. Le transducteur est disposé dans de l'eau dégazée de manière à détecter l'écho d'amplitude maximale reçu d'une interface plane normale de réflexion (voir annexe A, article A2), cette interface étant placée approximativement à la distance normale de fonctionnement.

La forme d'onde de l'écho est alors examinée à l'oscilloscope, de préférence aux bornes du transducteur, avec une sonde à faible capacité. L'amplitude  $V_{\max}$  de la demi-période la plus grande est mesurée et l'on compte les  $n$  demi-périodes consécutives (sans tenir compte de la polarité) dont l'amplitude est au moins égale à  $0,3 V_{\max}$ . Si le temps mesuré à l'oscilloscope à partir du passage à zéro de la première demi-période mesurée jusqu'à la fin de la  $n^{\text{ième}}$  demi-

### 3.18 *Brightness modulated display (B-mode)*

A method of data presentation of echo information in which a particular section through an imaged object is represented in a conformable way by the plane of the display and echo amplitude is represented by local brightness or optical density of the display.

### 3.19 *Time-motion display (M-mode)*

A method of data presentation of echo information in which echo amplitude is represented by local brightness or optical density of the display, transducer to target distance is represented on one orthogonal axis (generally vertical) and time on the other axis.

### 3.20 *A-scan*

A class of data acquisition geometry in one dimension, in which echo information is acquired from points lying along a single principal acoustic axis.

### 3.21 *B-scan*

A class of data acquisition geometry in which echo information is acquired from points lying in a scanned plane, or other section, containing an interrogating principal acoustic axis.

### 3.22 *C-scan*

A class of data acquisition geometry in which echo information is acquired from points lying in a scanned plane, or other section, intersecting an interrogating principal acoustic axis.

## 4. **Acoustic frequency**

### 4.1 *General*

Two important parameters are influenced by the choice of the frequency of the acoustic signal:

- a) lateral and axial resolution (see Clause 8),
- b) attenuation in living tissue (see Clause A1).

To this end a procedure for measurement of the quantity working frequency is given in Sub-clause 4.2. Whilst this quantity is considered to be more appropriate to the purpose than is nominal frequency, the problems surrounding attempts to express this aspect of performance in terms of any single quantity are also noted in Appendix C.

### 4.2 *Measurement of working frequency*

Working frequency should be measured in the following manner, using the equipment and procedures described in Appendices A and B. The transducer should be oriented in a degassed water bath so as to detect the maximum echo amplitude received from a working standard plane echo interface (see Appendix A, Clause A2) located at approximately the standard working distance.

The echo waveform should then be examined, preferably at the transducer terminals, using an oscilloscope with a low-capacitance probe. The amplitude,  $V_{\max}$ , of the largest half-cycle should be measured and the  $n$  consecutive half-cycles (irrespective of the polarity) having an amplitude not less than  $0.3 V_{\max}$  should be identified. If the time measured on the oscilloscope, between the zero-crossing point at the commencement of the first half-cycle in the above

période est  $t_n$ , la fréquence de fonctionnement (pour laquelle une précision de deux chiffres significatifs est suffisante) est exprimée par la formule suivante:

$$f_w = \frac{n}{2 t_n}$$

Il convient d'examiner la forme d'onde de l'écho pour y déceler la présence d'un déphasage éventuel; toute demi-période déphasée est à éliminer du décompte mentionné.

S'il n'est pas possible d'effectuer la mesure aux bornes du transducteur, on peut prendre la forme d'onde de l'écho à un stade ultérieur dans le récepteur, mais dans tous les cas avant redressement. Ce procédé, qui peut toutefois introduire une erreur en raison d'une limitation de la bande passante du récepteur, n'est pas, en conséquence, à recommander.

## 5. Aptitude à la détection des échos

### 5.1 Généralités

Cet article expose une méthode permettant de mesurer l'aptitude d'un système à échos d'impulsions à détecter les échos réfléchis par des cibles de grandeur donnée à diverses distances, en présence de bruit ou de signaux parasites inévitables dans les systèmes en cause.

### 5.2 Méthode de mesure

Il convient de procéder de la manière suivante pour mesurer l'aptitude à la détection des échos.

Le système à échos d'impulsions soumis à l'essai doit être installé de la façon prévue pour la présentation en mode A, les commandes de rejet et de TGC étant au zéro; le transducteur est immergé dans de l'eau (voir paragraphe 5.2.3, note 3) et une interface plane normale de réflexion (voir annexe A, article A2) est disposée sur l'axe acoustique principal à la distance normale de fonctionnement.

Il faut ensuite régler l'orientation du transducteur par rapport à l'interface normale de réflexion à plusieurs reprises suivant les deux axes d'inclinaison jusqu'à obtenir l'amplitude maximale de l'écho. Un atténuateur étalonné (voir annexe B) est ensuite réglé de façon que le niveau de bruit de crête (paragraphe 5.2.3) présente une amplitude adéquate (de préférence entre 10% et 40% de la déviation à pleine échelle) en mode A. (Si la plage de réglage de l'atténuateur ne permet pas de représenter le bruit de cette façon, on se reportera à l'article A2). Le gain est réduit à l'aide de l'atténuateur étalonné jusqu'à ce que l'amplitude de l'écho renvoyé par l'interface plane normale de réflexion soit égale au niveau correspondant déjà mesuré du bruit de crête. On note la différence  $N$ , en décibels, entre les deux réglages de l'atténuateur. La valeur de l'aptitude à la détection des échos est alors donnée, en décibels, par:

$$E = N + R$$

où  $R$  est la différence, en décibels, entre la force de l'écho provenant de l'interface plane idéale de réflexion et celle de l'écho renvoyé par l'interface plane normale de réflexion utilisée.

Si l'on donne une valeur de l'aptitude à la détection des échos sans autre précision, cette valeur correspond à la position de la cible placée sur l'axe acoustique principal à la distance normale de fonctionnement. Autrement, la distance de la cible sur l'axe doit être spécifiée.

Pour les positions voisines du transducteur, les signaux parasites produits par les réverbérations peuvent être tels qu'ils dépassent le niveau du bruit électronique et il convient alors de consigner les valeurs mesurées pour diverses distances de la cible qui couvrent la plage des distances de cible à l'intérieur de laquelle le système est appelé à fonctionner.

sequence and that at the end of the  $n$ th half-cycle, is  $t_n$ , then the working frequency (which should be reported with two digit accuracy only) is given by:

$$f_w = \frac{n}{2 t_n}$$

The echo waveform should be examined for evidence of occurrence of phase change and any half-cycle in which phase change is evident should be omitted from the above calculation.

If it is not possible to carry out this measurement at the transducer terminals it may be done using the echo waveform at a later stage in the receiver but, in any case, before rectification. This, however, will introduce the possibility of error arising from bandwidth restriction in the receiver and is therefore not a recommended procedure.

## 5. Echo detection capability

### 5.1 General

This clause describes a method for measuring the ability of a pulse-echo system to detect echoes from targets of given magnitudes, and at various ranges, in the presence of the noise or spurious signals inevitably present in the system in question.

### 5.2 Measurement method

Echo detection capability measurement should be carried out in the following manner.

The pulse-echo system under test should be set up in the normal manner for A-mode presentation (with TGC and suppression controls set to zero), with the transducer mounted in a water bath (see Sub-clause 5.2.3, Note 3) and a working standard plane echo interface (see Appendix A, Clause A2) positioned on the principal acoustic axis at the standard working distance.

The orientation of the transducer relative to the working standard plane echo interface should then be adjusted repeatedly about both axes of inclination until a maximum echo amplitude is obtained. A calibrated attenuator (see Appendix B) should then be adjusted so that the peak noise level (Sub-clause 5.2.3) is displayed at a convenient amplitude (preferably between 10% and 40% of full scale deflection) on the A-mode display. (If sufficient attenuator adjustment is not available to display noise in this way, reference should be made to Clause A2). The gain should be reduced by adjusting the calibrated attenuator until the level of the echo from the working standard plane echo interface is equal to the level at which the peak noise was previously displayed. The difference  $N$  in decibels between the two settings of the attenuator should be recorded. The echo detection capability in decibels is given by:

$$E = N + R$$

where  $R$  is the difference, in decibels, between the echo strengths from an ideal plane echo interface and that of the working standard plane echo interface employed.

If a value of echo detection capability is quoted without qualification this will relate to the position of the target on the principal acoustic axis that corresponds to the standard working distance. Otherwise the target axial distance referred to should be specified.

At positions close to the transducer, spurious signals arising from reverberations may be such that they exceed the electronic noise level and measurements at several different target axial positions, covering the range of target distances over which the system may be expected to operate, should then be recorded.

### 5.2.1 Cas spécial des présentations en demi-onde

Certains systèmes permettent de présenter les oscillogrammes en mode A sous forme d'onde pleine (non redressée). Si cela est possible, les mesures doivent être effectuées avec cette forme de présentation. Quand on ne dispose que d'une présentation en demi-onde, il faut tenir compte du fait que la présentation en mode A (paragraphe 7.2) peut être fortement non linéaire, particulièrement pour les signaux de faible niveau.

### 5.2.2 Systèmes où le bruit ne peut être représenté

Certains systèmes ne permettent pas de représenter de manière mesurable le niveau de bruit sur les oscillogrammes en mode A. Dans ce cas, l'aptitude à la détection des échos, exprimée en décibels, prendra la forme suivante:

$$E = N_E + R$$

$R$  étant défini comme au paragraphe 5.2 et  $N_E$  étant la valeur, en décibels, de l'affaiblissement par rapport au gain maximal qui est nécessaire pour réduire le niveau de l'écho renvoyé par l'interface plane normale de réflexion de manière à ce qu'il corresponde à 5% de la déviation à pleine échelle en présentation de mode A.

### 5.2.3 Mesure du niveau de bruit de crête

Au sens du présent rapport, le terme «bruit» concerne un phénomène à détermination statistique et il n'est pas possible de définir exactement le «bruit de crête». Le terme «bruit de crête» (plutôt que «bruit efficace» par exemple) est utilisé pour des raisons pratiques dans ce document et il convient de mesurer le «niveau de bruit de crête» de la manière suivante.

Le signal est affiché en déviation verticale sur un oscilloscope approprié dont le balayage horizontal est réglé en autodéclenché à une vitesse voisine de  $1 \text{ ms cm}^{-1}$ . En l'absence de perturbations électromagnétiques importantes, le signal présenté par l'oscilloscope est une bande de bruit de clarté uniforme de part et d'autre de laquelle on distingue les crêtes dues à l'impulsion d'émission avec d'autres crêtes parasites aléatoires. L'amplitude de cette bande est le niveau de bruit de crête. Les perturbations électromagnétiques engendrées par des sources extérieures au matériel essayé ne doivent pas être considérées comme du bruit pour la détermination de l'aptitude à la détection des échos (voir note 1).

A l'aide d'un atténuateur étaloné (on se reportera à l'annexe B) on règle la largeur verticale de l'oscillogramme produit par les échos renvoyés par une interface plane normale de réflexion à 10% de la déviation à pleine échelle. On ajuste ensuite la luminosité de manière à obtenir une image de l'écho juste perceptible ou enregistrable. On règle l'atténuateur en le diminuant jusqu'à ce que le sommet de la bande lumineuse de bruit dont il est question ci-dessus soit juste perceptible ou enregistrable à 10% de la déviation à pleine échelle. La différence du réglage de l'atténuateur entre ces deux états donne la grandeur  $N$  qui apparaît au paragraphe 5.2.

Le niveau de bruit cohérent qui n'est pas en synchronisme avec l'émetteur d'impulsions doit également être consigné s'il est supérieur au niveau de bruit mesuré par la méthode précitée.

*Notes 1.* — On peut généralement éviter ou réduire la représentation des perturbations électromagnétiques à fréquence basse comme celles dues au réseau en déclenchant l'oscilloscope à partir de ces perturbations.

2. — L'interface plane utilisée comme cible étalon de référence pour cet essai est spécifiée comme étalon «absolu». Toutefois, si l'on compare divers systèmes conçus pour travailler sur les tissus humains, il est prouvé que l'emploi d'une bille d'acier ou d'un filament de nylon comme cible peut conduire en pratique à des résultats nettement plus cohérents qu'en utilisant une interface plane (annexe D, référence 9).

3. — Pour éviter d'introduire des échos parasites produits par l'eau du récipient utilisé et qui peuvent être confondus avec le bruit ou les signaux parasites mentionnés plus haut, il est essentiel de réaliser ce récipient avec soin selon les principes exposés à l'article A1 de l'annexe A. On devra également tenir compte de l'influence éventuelle de l'affaiblissement acoustique de l'eau aux fréquences égales ou supérieures à 10 MHz (annexe D, référence 4, 5, 11).

### 5.2.1 *Special considerations for half-wave displays*

In some systems it will be possible to display the A-scan in full-wave (unrectified) form. Where possible, measurements should be made with the display in this form. Where only a half-wave display is available it should be borne in mind that the A-mode display characteristic (Sub-clause 7.2) may be strongly non-linear, particularly for small displayed signal levels.

### 5.2.2 *Systems incapable of displaying noise*

In some systems it may not be possible to display noise at measurable levels on the A-mode display. In such a case, echo detection capability, in decibels, should be reported as:

$$E = N_E + R$$

where  $R$  is defined as in Sub-clause 5.2 and  $N_E$  is the adjustment, in decibels from maximum gain, of attenuation setting that is necessary in order to reduce the echo level from the working standard plane echo interface to the condition where it is displayed at 5% of the full scale deflection of the A-mode display.

### 5.2.3 *Measurement of peak noise level*

Noise, in the sense that the term is used here, is a statistically determined phenomenon and "peak noise" cannot be defined exactly. The term "peak noise" (rather than, e. g., r.m.s. noise) is used here for practical reasons and "peak noise level" should be measured in the following way.

The signal should be displayed as a vertical deflection on an appropriate oscilloscope, on which the horizontal sweep should be free running at a speed corresponding to about  $1 \text{ ms cm}^{-1}$ . In the absence of significant electromagnetic interference (EMI) the displayed signal on the oscilloscope should now be a uniform bright band of noise, above which peaks due to the transmit pulse, and other occasional random peaks, may be discernible. The amplitude of this band is the peak noise level. Electromagnetic interference originating from any source external to the equipment under test should not be treated as noise for the purpose of determining echo detection capability (see Note 1).

Using a calibrated attenuator (Appendix B) the vertical deflection on the oscilloscope display due to the echo from a working standard plane echo interface should be set to 10% of full scale deflection. The luminosity of the display should then be adjusted to the point where the echo trace is just discernible or recordable. The attenuator setting should now be reduced until the top of the bright band of noise, referred to above, is just discernible or recordable at 10% of full scale deflection. The necessary change in attenuator setting between these two conditions is the quantity  $N$  referred to in Sub-clause 5.2.

The level of coherent noise which is asynchronous with the pulser should also be quoted if it is higher than the noise level measured by the above method.

*Notes 1.* — Unwanted display of low-frequency EMI, such as mains interference, may generally be prevented or reduced by triggering the oscilloscope from the interference.

2. — The plane interface has been specified as the standard reference target in this test on the grounds that it constitutes an "absolute" standard. However, there is evidence that, for the purpose of comparing different systems designed for work on human tissues, a steel ball target or nylon filament may in practice lead to much more consistent results than does a plane interface. (Appendix D, reference 9.)
3. — In order to avoid introducing unwanted echoes originating in the waterbath, which may be confused with the noise or spurious signals referred to above, it is essential that the waterbath used for this measurement be carefully designed, following the principles outlined in Clause A1 of Appendix A. For frequencies of 10 MHz or above the possible influence of acoustic attenuation by water should be taken into account, (Appendix D, references 4, 5, 11).

## 6. Variation du gain en fonction de la distance

### 6.1 Généralités

Cet article indique comment mesurer quantitativement la variation de l'amplitude de l'écho visualisé provenant d'une cible donnée en fonction de la distance cible-transducteur dans un système à échos d'impulsions. De manière générale, cette variation peut être partiellement contrôlée par une compensation du gain en fonction du retard. Elle doit être exprimée comme une grandeur distincte avec mention de la variation maximale de gain que permet le système.

L'essai a pour objet de donner des indications pratiques de travail sur les caractéristiques fonctionnelles du système. Il est possible d'y parvenir en effectuant des mesures utilisant seulement un nombre limité de combinaisons soigneusement choisies de la distance et des paramètres correspondants de la compensation du gain en fonction du retard.

### 6.2 Méthode de mesure

Pour mesurer cette variation, le système à échos d'impulsions est utilisé avec une interface plane normale de réflexion (voir annexe A, article A2), de la manière exposée au paragraphe 5.2, la compensation du gain en fonction du retard étant réglée au zéro ou à sa valeur minimale. On note, pour une série d'au moins cinq distances transducteur-cible  $D_i$  appropriée, les valeurs d'affaiblissement  $W_1$  permettant d'obtenir une présentation de l'écho à 50% de la déviation à pleine échelle en mode A. Cette série de distances est à choisir de manière à couvrir entièrement la plage d'utilisation prévue pour le système.

Les mesures effectuées de cette manière vont normalement indiquer une variation du gain du système en fonction de la distance. La variation du gain en fonction de la distance transducteur-cible doit être indiquée par rapport à la valeur  $W_m$  de l'affaiblissement mesurée à la distance normale de fonctionnement (soit en décibels en dessous de  $W_m$ ).

La série de mesures ci-dessus est ensuite répétée en appliquant la compensation de gain en fonction du retard; les résultats sont de nouveau indiqués par rapport au niveau  $W_m$  déjà trouvé. Quand on dispose de plusieurs réglages distincts de compensation du gain en fonction du retard, les mesures sont effectuées et consignées pour chaque réglage. En cas de possibilité de réglage continu de cette compensation, la caractéristique est mesurée et consignée pour une série de réglages reproductibles.

*Note.* — Cet essai ne peut être correctement réalisé que sur les systèmes munis d'un atténuateur étalonné. Dans le cas contraire, on peut connecter un atténuateur extérieur, mais cette pratique n'est pas recommandée sans expérience technique appropriée car elle peut entraîner de graves erreurs par suite de mauvaises adaptations des impédances électriques (voir annexe B).

## 7. Caractéristiques des divers modes de visualisation (présentation)

### 7.1 Généralités

Cet article expose les mesures quantitatives applicables au processus suivant par lequel un système à échos d'impulsions visualise la représentation de l'amplitude des échos reçus de divers points d'une structure examinée. Habituellement, cette visualisation pourra prendre deux formes: mode A ou mode B et la relation entre l'amplitude de l'écho mesurée sous forme de signal électrique aux bornes du transducteur et la valeur correspondante d'un paramètre caractéristique de la visualisation (par exemple déviation verticale du spot d'un faisceau cathodique en mode A ou luminosité de ce spot ou sa surface en mode B constituera un aspect important des performances du système.

## 6. Gain-range dependence

### 6.1 General

This clause describes quantitative measurements of the manner in which the displayed echo amplitude in a pulse-echo system, due to a given target, varies with the transducer-target distance. In general this variation will be partly controllable as time-gain compensation. This variation should be separately expressed and reference made to the maximum amount of gain variation available in the system.

The object of this test is to provide an adequate, working indication of the performance of the system. It should be possible to achieve this objective by carrying out measurements at only a limited number of carefully chosen combinations of distance and the relevant time gain compensation parameters.

### 6.2 Measurement method

To measure this variation with time gain compensation (TGC) at zero or minimum setting, the pulse-echo system should be set up with a working standard plane echo interface (see Appendix A, Clause A2), in the manner described in Sub-clause 5.2. Attenuation values  $W_i$  leading to an echo deflection of 50% full scale on the A-mode display, at an appropriate series of at least five transducer-target distances  $D_i$ , should then be noted. This series of distances should be chosen to cover fully the range for which the system is intended to be used.

Measurement in this manner will normally indicate a variation of the system gain as a function of distance. Gain variation as a function of transducer-target distance should be reported by reference to the value  $W_m$  of the attenuation measured at the standard working distance (i.e. as decibels below  $W_m$ ).

The above series of measurements should then be repeated with time-gain compensation (TGC) applied and results again reported by reference to the level  $W_m$  found above. Where several discrete TGC settings are available, each should be measured and reported. Where continuous control of TGC is provided, the characteristic should be measured and reported at a series of appropriate and repeatable settings.

*Note.* — This test can only be made satisfactorily on systems having built-in calibrated attenuators. For systems without this facility it may be possible to work with an externally connected, auxiliary attenuator, but this practice is not recommended in the absence of appropriate technical expertise, as it can lead to serious errors arising from problems of electrical impedance mismatch (see Appendix B).

## 7. Display characteristics

### 7.1 General

This clause describes quantitative measures of the processes by which a pulse-echo system displays a representation of the amplitudes of the echoes received from different points within an examined structure. Generally such a display will be in one of two forms: A-mode or B-mode, and an important aspect of system performance will be the relationship between echo amplitude, measured as an electrical signal at the transducer terminals, and the corresponding value of an appropriate display parameter (e. g. vertical deflection of a cathode ray spot in the case of A-mode and spot brightness and/or spot size in the case of B-mode).

## 7.2 Présentation en mode A

Pour déterminer les caractéristiques de la présentation en mode A, il est nécessaire d'aménager le système pour qu'un signal d'écho d'amplitude approprié (soit réel, soit obtenu artificiellement par des moyens électriques) apparaisse aux bornes du transducteur. Cette amplitude commode étant obtenue, le signal dû à l'écho est maintenu constant, tant en forme qu'en amplitude, pendant le reste de l'essai. La mesure consiste à déterminer la déviation verticale correspondant à l'écho affiché sur l'échographe en mode A, pour une série appropriée de réglages de l'atténuateur (voir annexe B).

Cette relation doit être enregistrée graphiquement et, quand elle subit l'influence de réglages particuliers comme: «amortissement» («filtre»), «élimination» («réjection») ou «gain», il convient de tracer des familles de courbes correspondant à ces commandes. Les groupes de données retenues pour être mesurées et enregistrées ici doivent se limiter à ceux qui sont nécessaires pour illustrer la plage de fonctionnement pratique du système.

## 7.3 Présentation en mode B

Pour déterminer le rapport entre l'intensité de l'écho reçu et l'aspect correspondant du spot apparaissant sur l'écran de l'oscilloscope dans la présentation en mode B, le matériel doit être aménagé de façon à visualiser l'écho renvoyé par une cible unique (par exemple l'un des fils d'un dispositif d'essai approprié – voir annexe A, article A3). Par des réglages successifs de l'affaiblisseur (voir annexe B) et de l'une des commandes de position de la visualisation, on enregistre photographiquement une série d'échos sous forme d'une rangée de spots pour des amplitudes d'écho variant de 3dB entre elles, construisant ainsi une représentation similaire à une plage de densités optiques obtenue par filtrage échelonné et couvrant toute l'échelle des gris. Ce mode de représentation permet de mesurer et de consigner l'effet de l'augmentation du gain sur le diamètre du spot apparaissant sur l'écran de l'oscilloscope. Comme pour le mode A, on consignera en valeurs quantitatives l'influence des fonctions qu'il est possible de commander comme le filtrage ou l'élimination. Il est important de noter le rapport entre les caractéristiques des présentations en mode A et en mode B. L'exposition multiple peut nuire à la qualité du résultat, la brillance du fond de l'écran amenant une diminution du contraste.

*Note.* — Dans les cas des présentations en mode B (à la fois pour la présentation des signaux d'écho obtenus en balayage type B et type C), la caractéristique fonctionnelle en cause concerne les qualités visuelles de l'image produite. En particulier, les variations d'amplitude de l'écho renvoyé par une cible ponctuelle influencent à la fois la taille et la luminosité du spot image. En outre, les propriétés visuelles de l'oscillogramme engendré par un ensemble de spots-images sont influencées par divers facteurs parmi lesquels on citera:

- a) l'angle solide soustendu à l'œil par chaque point de l'image;
- b) le niveau de l'éclairage ambiant pendant la visualisation;
- c) les variables et la non-linéarité des procédés photographiques utilisés pour enregistrer l'oscillogramme, et
- d) le choix, dans le cas des enregistrements photographiques, entre l'examen visuel par transmission ou par réflexion.

Plusieurs de ces facteurs ont leur importance dans d'autres domaines de la technique de l'imagerie où l'on pourra trouver éventuellement des informations sur les méthodes correspondantes. Il n'existe toutefois à ce jour aucun procédé entièrement satisfaisant et les informations précitées ne doivent être utilisées qu'à titre provisoire.

## 8. Résolution géométrique

### 8.1 Généralités

Cet article expose les mesures quantitatives à effectuer pour apprécier la mesure dans laquelle un système à échos d'impulsions introduit une dégradation spatiale de la représentation de la réflexion de cibles axiales ou de cibles ponctuelles axiales ou latérales.

## 7.2 *A-mode displays*

To determine the A-mode display characteristic it is necessary to arrange the system so that an echo signal (which may be either real or artificially generated electrically) is provided at the transducer terminals, at a convenient amplitude. Once this convenient amplitude has been established the echo signal should be retained constant, in both shape and amplitude, for the remainder of the test. The measurement then consists of determining the vertical deflection, corresponding to the A-mode echo display, at an appropriate series of attenuator settings (see Appendix B).

This relationship should be recorded graphically and, where it is affected by the settings of particular controls such as “damping” (“filter”), “suppression” (“rejection”), or “gain”, appropriate families of curves should be plotted. The sets of data selected to be measured and reported here should be limited to those necessary to illustrate the practically useful range of performance of the system.

## 7.3 *B-mode displays*

To determine the relationship between the magnitude of a returned echo and the corresponding appearance of a spot on the oscilloscope screen in a B-mode display the equipment should be arranged to display the echo from a suitable single target (e.g. one wire of a wire test object, see Appendix A, Clause A3). By successive adjustment of the attenuator (see Appendix B) and one of the display position controls, a series of echoes is recorded photographically in the form of a row of spots each differing from the next by 3 dB in echo amplitude, thus forming a display similar to an optical density step wedge and covering the entire grey scale. From this display the effect of increasing gain on displayed spot-size at the oscilloscope screen should be measured and recorded. As with the A-mode display the influence of controlled functions such as filter and suppression should be recorded in quantitative terms. It is important that the relationship between the A-mode and B-mode display characteristics should be noted. Multiple exposure may invalidate the record by loss of image contrast due to background brightness.

*Note.* — In the case of B-mode displays (for both B-scan and C-scan representations of echo (data), the relevant performance characteristic concerns the visual qualities of the image produced. In particular, changes in amplitude of the echo from a point target may influence both the size and the brightness of the image spot. In addition, the visual properties of the resultant image produced by a set of image spots will be influenced by various factors including:

- a) the solid angle subtended at the eye by each image point;
- b) the level of ambient lighting during viewing;
- c) variability and non-linearity in any photographic process used in recording a display, and
- d) the selection between transmission and reflection viewing of films in the case of photographic recording.

Several of these factors are of significance in other branches of imaging technology, from which guidance on methods of allowing for them may eventually be found. So far, however, no entirely satisfactory procedure has suggested itself and the above is given for interim use.

## 8. **Geometrical resolution**

### 8.1 *General*

This clause describes quantitative measurements of the extent to which a pulse-echo system introduces spatial degradation in the representation of single or neighbouring point and line targets.

La résolution géométrique d'un système à échos d'impulsions peut être envisagée sous deux aspects distincts: la résolution obtenue le long de l'axe du faisceau et la résolution latérale par rapport à ce faisceau. Ces deux caractéristiques peuvent être observées au mieux en présentation de mode A.

Il n'est généralement pas possible de corrélérer avec précision une caractéristique fonctionnelle présentée en mode B avec sa présentation en mode A, bien que ces deux présentations soient liées entre elles, car la présentation en mode B est affectée par un certain nombre de variables dépendant de la présentation et du dispositif d'enregistrement. Il convient en conséquence de mesurer et d'enregistrer séparément la résolution obtenue en présentation de mode B de celle obtenue en présentation de mode A.

Il est très difficile de définir la résolution avec les systèmes partiellement cohérents et l'on n'observe pas d'équivalence stricte entre les deux méthodes possibles pour la définir et la mesurer:

- a) par les dimensions spatiales effectives (par exemple à un niveau d'amplitude inférieur de 3 dB de l'image d'une cible ponctuelle ou linéaire;
- b) par la séparation dans l'espace de deux cibles ponctuelles ou linéaires au-delà de laquelle l'image composée se sépare en deux composantes en fonction de quelque critère approprié (par exemple, suivant lequel le niveau minimal de l'intervalle entre deux crêtes de l'image est à 3 dB sous le niveau de l'une ou l'autre de ces crêtes).

Pour obtenir des mesures quantitatives reproductibles, la méthode a) est considérée comme la plus adéquate et c'est elle qui est adoptée dans ce document pour le travail en mode A.

Toutefois, pour la présentation en mode B, cette méthode est difficilement utilisable de manière reproductible et nécessite un appareillage spécial. Dans ce deuxième cas, une méthode utilisant deux cibles est adoptée à cause de sa commodité pratique. Un complément de recherches demeure nécessaire pour déterminer le degré de correspondance entre les deux méthodes.

## 8.2 Mesure de la résolution axiale en mode A

Cette mesure est effectuée avec un dispositif d'essai comportant une petite cible sphérique réfléchissante (voir annexe A, article A4) installée de façon que sa surface de réflexion puisse être déplacée dans un plan normal à l'axe acoustique principal, à une distance axiale connue de la face active de l'élément transducteur.

Dans ces conditions, la position du réflecteur sphérique est réglée (au moyen d'un mécanisme de précision à deux coordonnées réalisé de manière appropriée) pour obtenir la valeur maximale de l'écho renvoyé. En introduisant un minimum de 6 dB d'affaiblissement étalonné dans le circuit (voir annexe B), on règle la commande de gain du système pour amener la crête de l'écho affiché en retour de la cible à un niveau de référence approprié et reproductible (par exemple pour 50% de la déviation à pleine échelle) en présentation de mode A. Le gain est alors augmenté de 6 dB par retrait de l'affaiblissement étalonné, et l'on mesure la durée de l'impulsion réfléchie  $\tau_p$  qui est l'intervalle de temps entre les deux points d'intersection les plus distants entre l'enveloppe de la trace redressée (vidéo) de la présentation en mode A (linéairement interpolée) et le niveau de référence ci-dessus. Le procédé de mesure est illustré par la figure 1, page 24.

On calcule alors la résolution axiale par la formule:  $\tau_p \cdot c/2$ , où  $c$  est la vitesse du son dans le milieu de propagation, vitesse prise égale à  $1540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  sauf indication différente (voir annexe A, article A1).

The geometrical resolution of a pulse-echo device has two separate aspects: resolution along the beam axis and resolution laterally to it. Both of these characteristics may most conveniently be observed on the A-mode display.

Performance on B-mode display, although related to that on A-mode, generally cannot be precisely correlated with it, since it may be affected by a number of variables in the display and recording system. Resolution of B-mode display should therefore be measured and recorded separately from that on A-mode.

In a partially coherent system, it is very difficult to define resolution and there may not be strict equivalence between two possible approaches to its definition and measurement:

- a) in terms of the effective spatial dimensions (e.g. to the  $-3$  dB amplitude level) of the image of a point or line target;
- b) in terms of the spatial separation, between two point or line targets, beyond which the composite image is resolved into two components on the basis of some appropriate criterion (e.g. that the minimum level in the gap between two image peaks is 3 dB below that in either of the two peaks themselves).

To achieve reproducible, quantitative measurements, approach *a*) is considered to be the more appropriate and is adopted here for A-mode work.

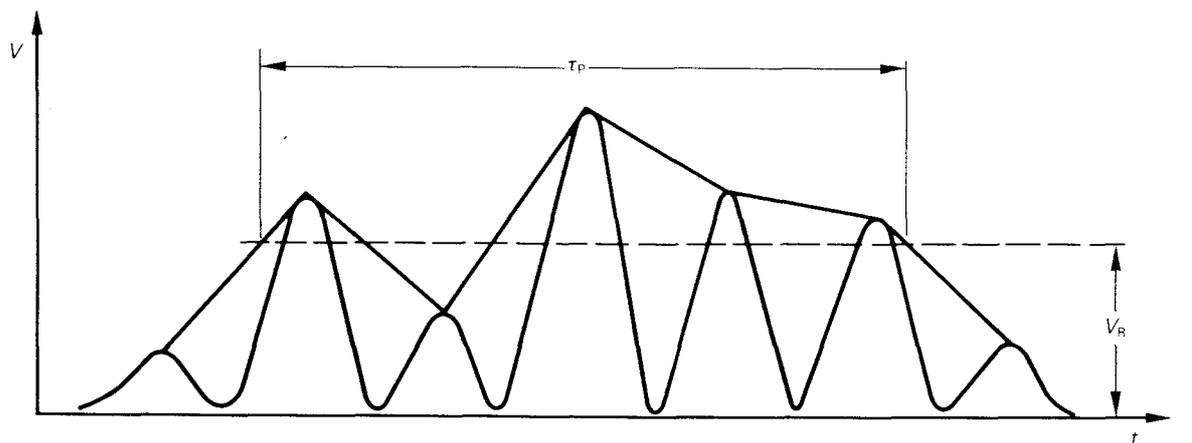
For B-mode displays, however, this approach is difficult to implement reproducibly and calls for specialized instrumentation; a two-target approach is therefore adopted in this case as a matter of practical convenience. The extent of correspondence between these two approaches will require further investigation.

## 8.2 Axial resolution measurement – A-mode

This measurement should be made with the aid of a small spherical reflecting target (see Appendix A, Clause A4), with its reflecting surface arranged to be movable in a plane normal to the principal acoustic axis and at a measured axial distance from the active face of the transducer element.

In these conditions the position of the spherical reflector in the locating plane should be adjusted (by means of an appropriately designed, two-coordinate, precision positioning mechanism) such that the received echo has a maximum value. With at least 6 dB of calibrated attenuation in the circuit (see Appendix B) the system gain control should be adjusted to set the peak of the displayed echo from the target to a convenient, reproducible reference level (e.g. 50% of full scale deflection) on the A-mode display. The gain should then be increased by 6 dB, by removal of calibrated attenuation, and the echo pulse duration  $\tau_p$  measured as the time interval between the two most widely separated points of intersection between the envelope of the rectified (video) A-mode trace (linearly interpolated) and the above reference level. This measurement procedure is illustrated in Figure 1, page 25.

Axial resolution should now be calculated from the formula:  $\tau_p \cdot c/2$ , where  $c$  is the velocity of sound in the propagation medium, which should be taken to be  $1540 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  unless otherwise stated (see Appendix A, Clause A1).



304/85

FIG. 1. — Illustration du procédé utilisé pour déterminer la durée  $\tau_p$  de l'impulsion réfléchie à partir d'un oscillogramme vidéo de présentation en mode A (paragraphe 8.2).  $V_R$  est le niveau de référence d'écho dont il est fait mention dans le texte.

Si l'on constate que les résultats de cette mesure dépendent des réglages de commandes particulières comme celles «d'amortissement» («filtre»), «d'élimination» («réjection») ou de «gain», il convient de choisir un ou plusieurs réglages appropriés pour effectuer les mesures et d'en consigner le détail (voir paragraphe 8.4, note 2).

### 8.3 Mesure de la résolution latérale en mode A

Cette mesure est effectuée avec un dispositif d'essai comportant une petite cible sphérique réfléchissante (voir annexe A, article A4) dont la position est réglable dans un plan normal à l'axe acoustique principal à une distance axiale connue de la face active de l'élément transducteur.

Dans ces conditions, la position du réflecteur sphérique est réglée (au moyen d'un mécanisme de précision à trois coordonnées réalisé de manière appropriée) pour obtenir la valeur maximale de l'amplitude de l'écho renvoyé. La résolution latérale cherchée est la distance en millimètres de déplacement latéral de la cible (suivant une coordonnée spécifiée) entre les deux positions pour lesquelles la valeur de crête de l'écho représenté est inférieure de 6 dB au niveau maximal mesuré au centre du faisceau (voir paragraphe 8.4, note 2).

La résolution latérale est à mesurer pour diverses distances transducteur-cible, choisies pour représenter la plage de distances prévues pour l'utilisation du système. La méthode s'applique aux transducteurs circulaires, focalisants ou non, mais elle peut également être adaptée à des transducteurs de forme différente.

### 8.4 Mesures de résolution avec présentation en mode B

Les mesures sont effectuées avec un dispositif d'essai comportant deux cibles en fil fin immergées dans l'eau et séparées par une distance variable. En pratique, la variation d'écartement peut être obtenue en utilisant une paire de fils fixes non parallèles (sans que leur angle soit supérieur à  $5^\circ$ ), en prévoyant un véritable réglage de l'écartement de fils parallèles, soit encore en utilisant un réseau de fils parallèles entre eux mais d'écartements différents (voir annexe A, article A3).

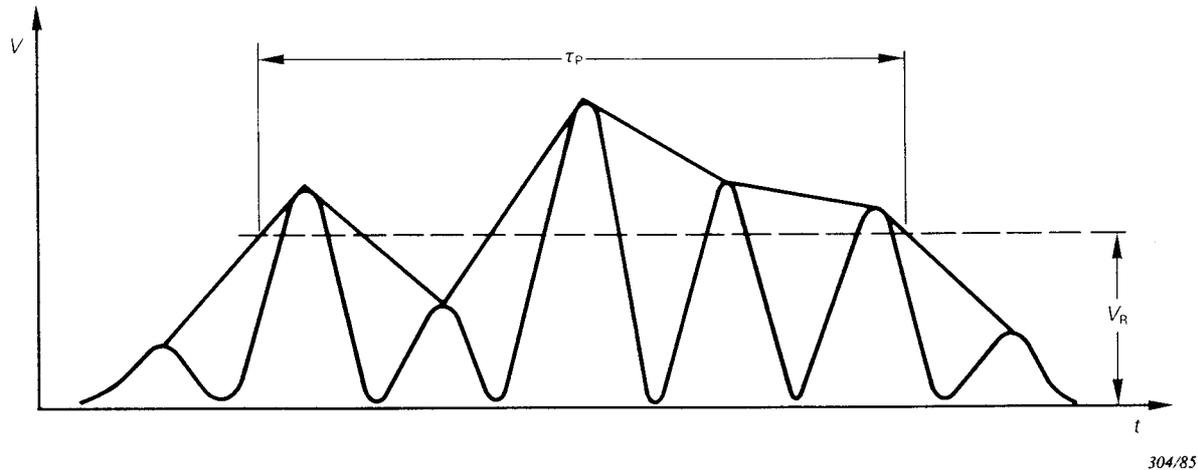


FIG. 1. — Illustration of the procedure for determining echo pulse duration  $\tau_p$  from a video A-mode display trace, as described in Sub-clause 8.2.  $V_R$  is the echo reference level referred to in the text.

If the results of this measurement are found to depend on the settings of particular controls such as “damping” (“filter”), “suppression” (“rejection”) or “gain”, one or more appropriate settings should be chosen for the measurement and details recorded (see also Sub-clause 8.4, Note 2).

### 8.3 Lateral resolution measurement — A-mode

This measurement should be made with the aid of a test object consisting of a small spherical reflecting target (see Appendix A, Clause A4) whose position should be adjustable within a plane normal to the principal beam axis at a measured axial distance from the transducer face.

In this condition the position of the spherical reflector in the locating plane should be adjusted (by means of an appropriately designed, precision, three-coordinate positioning mechanism) such that the received echo amplitude has a maximum value. Lateral resolution should then be recorded as the distance (in millimetres) between the two positions of lateral movement (in one specified coordinate) of the target at which the peak of the displayed echo is 6 dB below the maximum found at the centre of the beam (see Sub-clause 8.4, Note 2).

Lateral resolution should be measured at several different transducer-target distances, chosen to be representative of the range of distances over which the system is intended to be used. The procedure applies to circular transducers, which may be focused or unfocused, but it may also be adapted to transducers of other shapes.

### 8.4 Resolution measurement — B-mode displays

This measurement should be made with the aid of a test object consisting of two fine wire targets immersed in a water bath and a variable distance apart. In practice the distance variability may be achieved either by means of a fixed pair of non-parallel wires (but with an angle of not more than  $5^\circ$  from parallel), or by providing actual adjustment of distance between two parallel wires, or by using an array of several parallel wires, having differing distances between adjacent wires (see Appendix A, Clause A3).

Le transducteur doit être disposé de telle manière que l'axe de son faisceau se trouve:

- 1) soit, pour mesurer la résolution axiale, dans le plan contenant les deux fils et perpendiculaire à ceux-ci (ou voisin de la normale dans le cas de fils non parallèles — voir note 4),
- 2) soit, pour mesurer la résolution latérale, perpendiculaire au plan contenant les deux fils.

Dans chaque cas, la distance séparant le fil le plus proche de la face du transducteur est mesurée et consignée (voir note 1).

Dans ces conditions et en réglant de manière optimale la luminosité et la focalisation de l'oscilloscope comme les commandes de l'appareil de prise de vues, on procède à l'exploration d'une section plane normale aux fils que l'on enregistre photographiquement en utilisant le procédé qui sert à examiner les patients. La résolution axiale ou latérale est alors la distance (en millimètres) qui sépare les deux fils les plus voisins dont les images sont différenciées par une variation perceptible d'intensité. Pour la résolution axiale en particulier, cette mesure doit être effectuée avec deux fils dont la distance de séparation diminue progressivement. La résolution cherchée correspond alors à la distance pour laquelle les deux images cessent d'être distinctes l'une de l'autre pour la première fois (voir note 3).

Pour la résolution latérale, cette méthode s'applique aux transducteurs circulaires, focalisants ou non, mais elle peut être adaptée à des transducteurs d'autre forme.

Si l'on constate que les résultats de ces mesures dépendent des réglages de commandes particulières comme celles d'«amortissement» («filtre»), d'«élimination» («réjection») ou de «gain», il convient de choisir un ou plusieurs réglages appropriés pour effectuer les mesures et d'en consigner le détail.

*Notes 1.* — Il est possible que l'on ne puisse obtenir des résultats reproductibles dans le champ proche.

2. — Telles qu'elles sont spécifiées aux paragraphes 8.2 et 8.3, la résolution axiale et la résolution latérale se définissent comme des distances séparant des points où l'intensité est inférieure de 6 dB à une valeur maximale. Pour caractériser entièrement les performances, il pourra être intéressant de mesurer et de consigner également les valeurs correspondantes de la résolution à -12 dB, -20 dB ainsi qu'à -40 dB ou à la valeur spécifiable la plus faible que l'on puisse apprécier au-dessus du niveau de bruit.
3. — Avec certains systèmes, ceux qui utilisent une amplification non linéaire en particulier, la «résolution» telle qu'on la mesure comme ci-dessus peut dépendre du réglage de la commande de gain. Il peut être alors nécessaire d'effectuer des mesures de résolution pour divers réglages du gain.
4. — Les cibles à écartement progressivement variable utilisées pour mesurer la résolution peuvent donner des résultats plus précis et plus reproductibles que les cibles à écartement fixe. Un coin optique mince constitué par de l'eau emprisonnée dans un bloc de résine acrylique qui offre des surfaces planes de séparation résine-eau et eau-résine constitue un dispositif d'essai précis et pratique.

## 9. Précision de l'alignement géométrique

### 9.1 Généralités

Cet article expose comment mesurer quantitativement l'aptitude des systèmes à échos d'impulsions à présenter les cibles avec leurs rapports géométriques corrects. Les systèmes réels tendent à l'écart de l'idéal à ce propos et il convient d'effectuer des mesures pour estimer dans quelle mesure ces erreurs existent en faisant appel à la procédure exposée ci-après. Pour cette détermination, il est important de mesurer la vitesse du son dans le milieu de transmission (ou de la calculer à partir de sa composition et de sa température — voir annexe A, article A1) et de la consigner sans ambiguïté.

### 9.2 Etalonnage en profondeur

L'erreur maximale commise en enregistrant la profondeur à laquelle se trouve une cible dans un milieu de transmission donné se détermine de la manière suivante. Une série de mesures des

The transducer should be arranged so that its beam axis is either:

- 1) for axial resolution measurement in the plane containing the two wires, normal to both wires (or near normal for non-parallel wires — see Note 4), or
- 2) for lateral resolution measurement normal to the plane containing the two wires.

In either case the distance of the nearer wire from the transducer face should be measured and reported (see Note 1).

In this condition, and using optimum adjustment of the oscilloscope brightness and focusing controls, and also of the camera setting, a section scan of the group of wires should be made in a scan plane normal to the wires and recorded photographically, using procedures appropriate for patient scanning. The effective axial or lateral resolution is then found as the distance (in millimetres) between the closest pair of adjacent wires the images of which are separated by a perceptible change in intensity. Particularly in the case of axial resolution this measurement should be made with a procedure in which the distance between the two wires is gradually decreased. The resolution then corresponds to the distance at which the two images first cease to be separated (see Note 3).

For lateral resolution this procedure applies to circular transducers, which may be focused or unfocused, but it may be adapted to transducers of other shapes.

If the results of this measurement are found to depend on the settings of particular controls such as “damping” (“filter”), “suppression” (“rejection”) or “gain”, one or more appropriate settings should be chosen for the measurement and details recorded.

*Notes 1.* — Reproducible results may not be obtainable in the near field.

2. — Axial resolution and lateral resolution as specified in Sub-clauses 8.2 and 8.3 are defined as distances between points where intensity is  $-6\text{dB}$  relative to a maximum value. For full specification of performance it may often be valuable to measure and report corresponding values for resolution referred to  $-12\text{dB}$ ,  $-20\text{dB}$  and either  $-40\text{dB}$  or the lowest (and specified) attainable value above noise.
3. — In some systems, particularly those using non-linear amplification, “resolution” as measured in the manner described here may be dependent on amplifier gain setting. In such cases it may be necessary to carry out resolution measurements at several different gain settings.
4. — A resolution target with continuously variable separation may provide more accurate and reproducible measurements than discrete separated targets. A thin wedge of water in an acrylic block, providing planar interfaces of acrylic-water and water-acrylic, permits an accurate and practical test method.

## 9. Geometrical alignment accuracy

### 9.1 General

This clause describes quantitative measures of the ability of a pulse-echo system to display targets in their correct geometrical relationships. Real systems will tend to depart from perfection in this respect and measurements of the extent of such errors, should be carried out, using the procedure outlined below. In this determination it is important that the sound velocity in the transmission medium be measured (or calculated from known composition and temperature—see Appendix A, Clause A1) and clearly stated.

### 9.2 Depth calibration

The maximum error in recording depth of a target in a given transmission medium should be determined in the following way. A series of measurements of indicated depths  $y$  should be

profondeurs indiquées  $y$  est effectuée sur des cibles immergées à des profondeurs réelles  $x$  et l'on trace la droite de régression sur la représentation graphique de tous les points  $(x, y)$ . Cette droite peut être considérée comme une fonction de la forme:

$$x = ay + b$$

Cette formule permet de déterminer les paramètres ci-après:

- 9.2.1 L'erreur sur l'étalonnage du zéro:  $E_0 = b$  (mm).
- 9.2.2 L'erreur sur l'étalonnage de la vitesse du son:  $E_v = 100(1-a)$  (%).
- 9.2.3 L'écart maximal observé par rapport à la linéarité:  $E_c = \delta x$  (mm), formule dans laquelle  $\delta x$  est la plus grande distance entre un point quelconque  $(x, y)$  du graphe et la droite de régression obtenue avec tous les points de mesure.

L'étalonnage en profondeur est à effectuer avec un dispositif d'essai composé d'un jeu d'un minimum de cinq fils fins, parallèles et coplanaires et situés à des intervalles réguliers, le transducteur étant orienté de façon que l'axe acoustique principal soit dans le plan des fils et perpendiculaire à leurs axes, disposition permettant de voir tous les fils simultanément. L'ensemble des fils doit couvrir la plage des distances pour laquelle, à partir du transducteur, l'utilisation pratique est prévue.

### 9.3 *Alignement en balayage de type B*

Dans les systèmes destinés à présenter les informations obtenues par balayage de type B à partir de techniques de balayage composé, il convient de mesurer l'étendue des erreurs d'enregistrement introduites par le procédé de balayage complexe d'une cible donnée sous plusieurs angles d'incidence. On mesure, en millimètres, la moitié du déplacement maximal entre les positions extrêmes de l'image obtenue avec une cible à fil fin (voir annexe A, article A3), observée pour diverses combinaisons d'angles d'incidence et de distances, représentatives de celles pour lesquelles le matériel est destiné. Le dispositif d'essai à fil fin doit avoir une dimension telle que ses différents fils s'étendent sur toute la section droite de balayage que le système doit couvrir et son image doit être présentée de manière à couvrir entre 40% et 80% des dimensions verticale et horizontale de l'écran de visualisation.

Ce déplacement devra être rapporté à l'échelle réelle et mesuré en explorant la cible à fil fin suivant plusieurs angles et plusieurs distances.

- Notes 1.* — Certains dispositifs d'essai à fils peuvent être encadrés par des fenêtres acoustiques minces et rigides, ce qui peut introduire une petite modification de l'alignement apparent qu'il y a lieu de corriger de manière appropriée.
2. — Une autre méthode de mesure de l'étalonnage en profondeur (et également à la rigueur, de l'alignement en balayage de type B) a été décrite dans la littérature (annexe D, référence 7). Elle consiste à produire électroniquement des signaux marqueurs dans le domaine des temps pour remplacer efficacement les échos ultrasonores produits par la cible à fil fin.

made on targets at corresponding true depths  $x$  and the straight regression line drawn through a graphical plot of all points  $(x, y)$ . This line may then be described by a function of the form:

$$x = ay + b$$

From this the following should be determined.

- 9.2.1 Error in zero calibration:  $E_0 = b$  (mm).
- 9.2.2 Error in sound velocity calibration:  $E_v = 100(1-a)$  (%).
- 9.2.3 Maximum observed deviation from linearity:  $E_c = \delta x$  (mm), where  $\delta x$  is the largest distance of any point  $(x, y)$  from the straight regression line derived for all the measured points.

The depth calibration should be carried out using a test object consisting of a set of five or more parallel, evenly spaced, coplanar fine wires, with the transducer oriented so that the principal acoustic axis is in the plane of the wires and normal to their axes. This will enable simultaneous viewing of all the wires. The positions of the wires should cover the full range of distances from the transducer over which practical utilization is intended.

### 9.3 *B-scan alignment*

In a system designed for display of B-scan information obtained by compound scanning techniques the extent of registration errors introduced by the process of multiple scanning of a given target from several angles should be measured. This should be determined as half the maximum displacement, in millimetres, between the extreme positions of the image of fine wire target (see Appendix A, Clause A3) observed when it is scanned from various combinations of angle and distance representative of those for which the equipment is designed. The wire test object used should be of such a size that the positions of its various wires extend across the full scan cross-section which the equipment is designed to cover, and its image should be displayed so as to cover between 40% and 80% of the horizontal and vertical dimensions of the display screen.

This displacement should be referred to a real scale and measured by scanning the fine wire target from a multiplicity of angles and distances.

*Notes 1.* — Some wire test objects may in practice be enclosed by thin rigid acoustic windows. This may introduce a small modification in apparent alignment, for which an appropriate correction will need to be made.

- 2. — An alternative approach to the measurement of depth calibration (and also, potentially, B-mode alignment) has been described in the literature (see Appendix D, reference 7). This approach is to electronically generate a set of time-marker signals that effectively replace the ultrasonic echo signals from the fine wire target.

## ANNEXE A

## CIBLES ET INTERFACES DE RÉFÉRENCE

Il est nécessaire, pour vérifier et normaliser les systèmes à échos d'impulsions de lier certains paramètres de fonctionnement à des cibles échogènes dotées de caractéristiques spécifiques et reproductibles au plan acoustique. Cette annexe définit une interface normale ou «idéale» et donne la description de plusieurs cibles de référence pratiques, destinées à servir d'étalons secondaires pour des essais particuliers, avec des conseils sur leur montage et leur positionnement. Les propriétés des milieux de propagation utilisés avec ces cibles de référence ont leur importance pour obtenir des conditions d'essai précises et reproductibles; elles sont également prises en considération.

## A1. Milieux de propagation et récipients

Pour nombre des essais qu'il est nécessaire d'effectuer sur les systèmes à échos d'impulsions ultrasonores, il est souhaitable de travailler dans un milieu où l'affaiblissement des ultrasons est négligeable et dont les valeurs de densité et de vitesse de propagation du son sont représentatives de celles des tissus humains mous. Comme ces derniers présentent des propriétés hétérogènes, cette dernière condition ne peut être abordée que par voie de compromis. En règle générale, il est suffisant de prendre une densité égale ou proche de celle de l'eau alors que, pour la vitesse du son, il est d'usage courant de choisir entre 1500 et 1540 m.s<sup>-1</sup>. Il est également commode de travailler à la «température ambiante normale» de 25 °C (77 °F) environ. Ces motifs amènent à recommander les milieux de travail suivants:

- a) Eau distillée, dégazée, à 25 °C.  
Vitesse du son:  $(1500 \pm 5) \text{ m.s}^{-1} + 3 (T-25) \text{ m.s}^{-1}$ .
- b) Solution à 5% d'éthanol dans l'eau distillée dégazée pure, à 25 °C.  
Vitesse du son:  $(1540 \pm 5) \text{ m.s}^{-1} + 2 (T-25) \text{ m.s}^{-1}$ .

(données valables dans la plage 20 °C à 40 °C; voir annexe D, référence 6).  
*T* est la température (en °C).

Le coefficient  $\alpha$  d'affaiblissement des ultrasons vaut pour l'eau pure, dans la plage de fréquences comprises entre 1 MHz et 100 MHz et à différentes températures:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2,04 \times 10^{-3} \times f^2 && \text{dB.cm}^{-1} && \text{à } 22 \text{ °C} \\ \alpha &= 1,91 \times 10^{-3} \times f^2 && \text{dB.cm}^{-1} && \text{à } 24 \text{ °C} \\ \alpha &= 1,82 \times 10^{-3} \times f^2 && \text{dB.cm}^{-1} && \text{à } 26 \text{ °C} \\ \alpha &= 1,65 \times 10^{-3} \times f^2 && \text{dB.cm}^{-1} && \text{à } 30 \text{ °C} \\ \text{et} \quad \alpha &= 1,9 \times 10^{-3} \times f^2 && \text{dB.cm}^{-1} && \text{à } 25 \text{ °C} \end{aligned}$$

où  $f$  est la fréquence en MHz (voir annexe D, référence 12). Il est donc nécessaire de tenir compte de ces pertes dans les méthodes de mesure quand la fréquence dépasse 10 MHz.

La réalisation de la cuve à eau dans laquelle les mesures sont effectuées doit être telle que les réflexions dues à ses parois n'affectent pas sensiblement les résultats. Les précautions d'ordre général qu'il convient de prendre à cet égard sont les suivantes:

- 1) Utiliser un récipient suffisamment grand.
- 2) Eviter de disposer des interfaces plans de réflexion perpendiculairement à la direction du faisceau, sauf quand c'est nécessaire pour un essai.
- 3) Recouvrir les parois intérieures du récipient d'un matériau absorbant.

## APPENDIX A

## REFERENCE TARGETS AND INTERFACES

For the testing and standardization of pulse-echo systems it is necessary to refer certain performance parameters to echo-producing targets having specific and reproducible acoustic characteristics. In this appendix a standard or "ideal" interface is defined and several practical reference targets for use as sub-standards in particular tests are described, together with suggested practical arrangements for their mounting and positioning. Properties of the transmission medium used in connection with reference targets are of importance in achieving accurate and reproducible testing conditions, and these are also considered.

## A1. Propagation media and containers

For many of the tests that it is necessary to make on ultrasonic pulse-echo systems it will be desirable to work in a medium of negligible ultrasonic attenuation and with values of density and sound velocity that are representative of human soft tissues. Since human soft tissues are heterogeneous in their properties, the latter requirement can only be approached by compromise. It will generally be satisfactory to assume a value of density equal or nearly equal to that of water whilst, for sound velocity, current practice is generally to choose between values of 1500 and 1540 m.s<sup>-1</sup>. It is also convenient to work at "normal room temperature": 25 °C (77 °F) approximately. For these reasons the following working media are recommended:

- a) Pure degassed, distilled water at 25 °C.  
Sound velocity:  $(1500 \pm 5) \text{ m.s}^{-1} + 3 (T-25) \text{ m.s}^{-1}$ .
- b) 5% ethyl alcohol in pure degassed distilled water, at 25 °C.  
Sound velocity:  $(1540 \pm 5) \text{ m.s}^{-1} + 2 (T-25) \text{ m.s}^{-1}$ .

(valid for the range 20 °C to 40 °C; see Appendix D, reference 6).  
*T* is the temperature (in °C).

The ultrasonic attenuation coefficient  $\alpha$ , of pure water in the frequency range 1 MHz to 100 MHz at different temperatures is given by:

$$\begin{aligned} \alpha &= 2.04 \times 10^{-3} \times f^2 \text{ dB.cm}^{-1} \text{ at } 22 \text{ }^\circ\text{C} \\ \alpha &= 1.91 \times 10^{-3} \times f^2 \text{ dB.cm}^{-1} \text{ at } 24 \text{ }^\circ\text{C} \\ \alpha &= 1.82 \times 10^{-3} \times f^2 \text{ dB.cm}^{-1} \text{ at } 26 \text{ }^\circ\text{C} \\ \alpha &= 1.65 \times 10^{-3} \times f^2 \text{ dB.cm}^{-1} \text{ at } 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{and } \alpha &= 1.9 \times 10^{-3} \times f^2 \text{ dB.cm}^{-1} \text{ at } 25 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

where  $f$  is the frequency in MHz (see Appendix D, reference 12). Thus, in measurement procedures for frequencies above 10 MHz, such losses will need to be taken into account.

The design of the water tank in which measurements are to be carried out should be such that reflections from the tank walls do not significantly affect the measurements. General precautions that will help in achieving this condition are:

- 1) To use a tank of adequately large dimensions.
- 2) To avoid locating plane reflecting interfaces normal to the beam direction (except where necessary for a test).
- 3) To cover the inside of the tank walls with absorbing material.

Une bonne méthode de vérification du caractère approprié de ces dispositions consiste à noter l'influence, sur l'image d'écho reçue, de légers mouvements du récipient par rapport à la sonde et à la cible lorsque la position relative de ces deux éléments reste fixe.

Il est généralement très difficile de dégazer complètement un liquide, mais, dans le cadre de ce document, un dégazage partiel est en général suffisant. Il existe plusieurs procédés, l'un des meilleurs consistant à soumettre le liquide à un vide peu poussé d'environ 2500 Pa (25 mbar) par exemple, pendant au moins 1 h avant utilisation. Une variante consiste à placer le liquide dans une cuve destinée au dégraissage par ultrasons ou encore de le chauffer à 80 °C pendant 1 h. L'eau dégazée exposée à l'atmosphère réabsorbe graduellement de l'air et il peut être nécessaire de répéter périodiquement le traitement choisi. S'il est fait usage d'une cuve de nettoyage à ultrasons ou d'un dispositif de chauffage pour dégazer l'eau, on veillera à éviter toute réintroduction de gaz lors du transfert de l'eau dans le récipient.

## A2. Cibles normales de travail

Des cibles de tout genre peuvent être utiles pour les mesures pratiques. Elles peuvent toutes être rapportées, par le calcul ou par une comparaison minutieuse, à l'interface plane idéale de réflexion. Un matériel stable, pourvu d'affaiblisseurs à large gamme dont les pertes et la précision ont été vérifiées, est nécessaire pour effectuer ce genre de comparaison (voir annexe B). De telles comparaisons sont recommandées.

### a) Interfaces planes normales de réflexion

On peut utiliser des interfaces planes normales de réflexion entre le liquide d'étalonnage (milieu 1) et un autre milieu (milieu 2), si ces milieux satisfont aux critères suivants:

- 1) L'épaisseur du milieu 2 devra être assez grande et/ou son affaiblissement assez élevé pour éviter les interférences entre l'écho désiré en retour de l'interface et les réflexions internes ou la réflexion sur la face arrière.
- 2) La dimension transversale du milieu 2 devra être supérieure au diamètre de l'élément transducteur dans un rapport au moins égal à trois.
- 3) La planéité devra être à 10 µm près.
- 4) Le poli de surface devra être à 5 µm près.
- 5) Si le milieu 2 est un liquide, il ne devra pas être miscible avec le milieu 1.
- 6) Dans tous les cas où les impédances acoustiques spécifiques des milieux 1 et 2 sont du même ordre de grandeur, il convient de déterminer la variation de la réflectivité en fonction de la température.

La différence R, en décibels, entre le niveau du signal d'écho renvoyé par une interface de ce genre et celui qui serait renvoyé par une interface plane idéale de réflexion peut être établie par le calcul au moyen de la formule suivante:

$$R = 20 \log \frac{|Z_2 - Z_1|}{(Z_2 + Z_1)}$$

$Z_1$  et  $Z_2$  étant les impédances acoustiques spécifiques des milieux 1 et 2. Pour obtenir la meilleure précision, on recommande d'utiliser un corps solide à haute impédance nécessitant le moins de correction possible, mais seulement dans le cas où l'on peut mesurer des signaux réfléchis de grande amplitude. Si la plage de réglage de l'affaiblisseur faisant partie de l'appareil n'est pas suffisante pour mesurer des signaux d'une telle amplitude, on utilisera une interface dont la réflectivité est plus faible ou une cible cylindrique ou sphérique. Il existe un grand nombre d'interfaces planes à faible réflectivité. Elles doivent toutes être rapportées

A good method of checking the adequacy of these procedures is to note the effect, on a received echo pattern, of slight movements of the water tank relative to the probe and target, when the relative position of these is fixed.

Complete degassing of a liquid is generally very difficult but, for the purposes of this document, partial degassing will generally be adequate. For this, several procedures are available. One of the best is to expose the liquid to partial vacuum, for example 2500 Pa (25 mbar) for a period of 1 h or more before use. Alternatively, treatment in an ultrasonic cleaning tank or heating to 80 °C for a period of 1 h will generally be adequate. Degassed water exposed to the atmosphere will gradually re-absorb air and periodic further treatment may be necessary. If an ultrasonic cleaner or a heater is used to degas the water, care must be taken to avoid re-introducing gas when the water is siphoned into the tank.

## A2. Working standard targets

A variety of targets may be useful in practical measurement. These can all be referred to the ideal plane echo interface by calculation or by careful comparison. Equipment of high stability, provided with high range attenuators which have been checked for leakage and accuracy, is required for such comparison (see Appendix B). Such comparisons are encouraged.

### a) Working standard plane echo interfaces

Plane interfaces between the calibration liquid (Medium 1) and another medium (Medium 2) may be used if these media satisfy the following criteria:

- 1) The thickness of Medium 2 should be high enough and/or its attenuation should be great enough to prevent interference between the desired interface echo and internal reflections or back surface reflection.
- 2) The transverse dimension of Medium 2 should be greater than the diameter of the transducer element by a factor of three or more.
- 3) Flatness should be within 10 µm.
- 4) Surface finish should be within 5 µm.
- 5) If Medium 2 is a liquid it should be immiscible with Medium 1.
- 6) In all cases where the specific acoustic impedances of Media 1 and 2 are of the same order of magnitude, the temperature dependence of reflectivity should be determined.

The difference  $R$ , in decibels, between the echo signal level from such an interface and that from the ideal plane echo interface may be determined by calculation from the following formula:

$$R = 20 \log \frac{|Z_2 - Z_1|}{(Z_2 + Z_1)}$$

where  $Z_1$  and  $Z_2$  are the specific acoustic impedances of Media 1 and 2. For best accuracy a high impedance solid, which requires the least correction, is recommended, but only in cases where the resulting large-amplitude reflected signal can be measured. If the equipment attenuator range is insufficient to measure such large signals, a more weakly reflecting interface or a cylindrical or ball target should be used. A variety of weakly reflecting plane interfaces is possible. All should be referred to the ideal plane echo interface by measurement or calculation. A convenient arrangement in this situation may be achieved by using

par mesure ou par calcul à l'interface plane idéale de réflexion. Dans ces conditions, une disposition satisfaisante peut être obtenue en utilisant plusieurs réflexions d'interfaces de coefficient de réflexion relativement peu élevé, disposition qui a fait l'objet d'une description publiée (annexe D, référence 3). Une autre disposition possible consiste à utiliser l'interface faiblement réfléchissante entre deux liquides non miscibles de propriétés appropriées, par exemple l'eau et le tétrachlorure de carbone  $\text{CCl}_4$  (annexe D, référence 10).

*b) Cibles étalons cylindriques ou sphériques (billes)*

Ces cibles non planes procurent des réflexions d'amplitude plus faible que l'interface plane idéale de réflexion. L'étalement de l'onde cylindrique ou sphérique diffusée par ces cibles introduisant une variation de l'intensité réfléchie par rapport à une interface plane en fonction de la distance, il faut toujours indiquer la distance d'étalement. Ces cibles doivent être caractérisées par la mesure de l'intensité du signal d'écho par rapport à une interface plane idéale de réflexion, ou par leur section efficace de diffusion. Il est recommandé de procéder à ces mesures caractéristiques, étant donné qu'il est possible de mieux appréhender la diffusion par les tissus en connaissant l'influence de la distance de ces cibles. En définitive, ces objets peuvent se révéler des étalons préférables aux plans (annexe D, référence 9).

La particularité attachée aux objets de ce genre est l'influence de la fréquence de l'impulsion, de sa durée et de sa forme sur l'amplitude du signal diffusé. Les effets de la conversion de modes, des ondes «glissantes», de la diffusion ou fonction de la fréquence peuvent tous intervenir, mais ils n'interdisent pas d'utiliser des fils ou des billes pour effectuer des mesures relatives, comme celle de la forme du faisceau pour une impulsion donnée ou encore pour établir des comparaisons en laboratoire. Pour être utilisées comme étalons de réflectivité absolue, ces cibles non planes nécessitent de disposer, soit d'une spécification complète de l'impulsion acoustique, soit d'une preuve expérimentale de la manière dont le coefficient de diffusion subit l'influence des paramètres de l'impulsion dans des plages spécifiées.

Les cibles non planes devront satisfaire aux spécifications ci-après:

- 1) Les cibles à fils (voir annexe A, article A3) devront être ajustées perpendiculairement à l'axe du faisceau ultrasonore en cherchant l'amplitude maximale de l'écho.
- 2) Les cibles en forme de bille (voir annexe A, article A4) supportées par un montage doivent être conçues de manière que les échos produits par leur support ne perturbent pas l'écho dû à la bille. Ces supports pouvant avoir un effet sur les ondes «glissantes» et affecter ainsi la réponse impulsionnelle, il convient également de spécifier le mode de fixation de la bille (colle, etc.) ainsi que son mode de support (fil, tube, etc.).

### **A3. Dispositifs d'essai à fils**

Certaines mesures de caractéristiques fonctionnelles exposées ci-dessus imposent l'utilisation d'un dispositif d'essai comportant un ou plusieurs fils fins. Voici quelques-uns des critères auxquels ces dispositifs devront répondre:

- 1) La position du ou des fils doit pouvoir être ajustée dans l'espace; par la suite, cette position doit être fermement maintenue, que ce soit par rapport à l'axe du faisceau ultrasonore ou par rapport aux autres fils du réseau d'essai.
- 2) Les fils utilisés doivent être rectilignes, rigoureusement cylindriques et de section droite uniforme.

multiple reflections from interface of relatively low reflection coefficient and one such arrangement has been described (see Appendix D, reference 3). Another possible arrangement is to use the weakly reflecting interface occurring between two immiscible liquids of appropriate properties, for example, water and carbon tetrachloride  $\text{CCl}_4$  (see Appendix D, reference 10).

*b) Working standard cylindrical and ball targets*

These non-planar targets provide smaller amplitude reflections than the ideal plane interface. Because spreading of the reflected cylindrical or spherical wave scattered by these targets introduces a distance dependence into the reflecting strength relative to the plane interface, the calibration distance should always be recorded. These targets should be characterized by measured echo signal strengths relative to an ideal plane echo interface, or by scattering cross-sections. These characterization measurements are encouraged, since the scattering by tissues may be approximated better by the distance dependence of the targets. These objects may eventually prove to be more desirable standards than are planes (see Appendix D, reference 9).

A particular problem with these objects is the dependence of the scattered amplitude on pulse frequency, duration and shape. Mode conversion effects, creeping waves, and frequency dependent scattering may all be involved. These problems do not prevent use of wires or balls in relative measurements, such as beam shape for a particular pulse, or as means of comparison within a laboratory. For use as standards of absolute reflectivity these non-planar targets require either complete specification of the acoustic pulse or experimental evidence of how the scattering coefficient is influenced by pulse parameters within specified ranges.

Non-planar targets should meet the following specifications:

- 1) Wire targets (see Appendix A, Clause A3) should be adjusted to be perpendicular to the ultrasonic beam axis by maximizing the echo amplitude.
- 2) Ball targets (see Appendix A, Clause A4) should be suspended by mounting means such that echoes from the mountings do not interfere with the ball echo. Because such mountings may influence the creeping waves and thus also affect the pulse response, the ball attachment method (cement, etc.) and mounting means (wire, tubing, etc.) should also be specified.

**A3. "Wire" test objects**

Several of the performance measurements described above call for the provision of a test object in the form of one or more fine wires. Some of the requirements for such a test will be:

- 1) That the spatial position of a wire, or wires, can be adjusted, and subsequently held positively in position, relative both to an ultrasonic beam axis and to any other wires in the test-array.
- 2) That the wires are straight, accurately cylindrical and of uniform cross-section.

- 3) l'intensité réfléchissante des fils de la cible (qui dépend du diamètre des fils et de leur désadaptation d'impédance avec le milieu environnant) doit pouvoir engendrer des échos dont l'amplitude tombe bien dans la plage dynamique effective de l'appareillage soumis aux essais.

Ces critères, joints à la diversité des paramètres d'utilisation (la fréquence de fonctionnement en particulier) qu'il y a lieu de couvrir, rendent impossible la définition d'un dispositif d'essai universellement satisfaisant. A condition, toutefois, que les dispositions appropriées soient prises pour déterminer l'écartement des fils quand c'est nécessaire pour mesurer une caractéristique de fonctionnement particulière et également à condition que les conditions précitées (voir annexe A, articles A1, A2 et A3) soient remplies, la forme précise de réalisation du dispositif d'essai ne devra pas affecter les résultats de mesure.

A titre de guide pratique, des fils d'acier inoxydable d'environ 100 µm de diamètre ou de nylon de 200 µm environ (courants pour la pêche) donnent des cibles d'intensité réfléchissante appropriée avec une rectitude facile à obtenir sous tension modérée. Il faut se procurer les données sur la forme de la section des fils et son uniformité. L'emploi de fils dont le diamètre est plus gros que nécessaire peut donner des échos de structure complexe et éventuellement des effets de masquage entre fils, ainsi que des résonances.

#### A4. Dispositifs d'essai sphériques

Pour effectuer les mesures de résolution spatiale en mode A (paragraphe 8.2 et 8.3), il est nécessaire d'utiliser un dispositif d'essai sphérique, dont une forme pratique et aisée à se procurer est constituée par une bille d'acier inoxydable. Elle peut être fixée avec un adhésif approprié à l'extrémité d'une tige. Le diamètre de cette tige ne doit pas être supérieur à la moitié du diamètre de la bille et, en cours d'utilisation, le point de fixation doit être situé du côté de la bille qui est le plus éloigné du transducteur que l'on étudie.

En pratique, une sphère apparaîtra, pour un transducteur donné, comme une cible de taille non nulle. Pour mesurer une résolution latérale de valeur  $r$ , il est souhaitable que la dimension apparente de la cible ne soit pas supérieure à  $0,25r$  et, comme la dimension apparente (par simple tracé géométrique) d'une cible sphérique de diamètre  $d$  située à une distance  $L$  d'un élément transducteur circulaire de diamètre  $D$  est approximativement  $dD/4L$ , on obtient la condition:

$$\frac{dD}{L} < r$$

Pour les applications avec lesquelles le résultat des mesures risque d'être affecté par des effets de diffraction, et particulièrement pour la détermination de la résolution axiale (voir paragraphe 8.2), il est souhaitable de travailler dans des conditions qui n'entraînent pas une influence significative de la fréquence sur la réflectivité de la cible. Pour une sphère d'acier immergée dans de l'eau, cette condition semble être satisfaite à  $\pm 1$  dB près lorsque  $d > 5 \text{ MHz}/f$ ,  $d$  étant exprimé en millimètres et  $f$ , la fréquence de fonctionnement, en mégahertz (voir annexe D, référence 8).

Pour mesurer la résolution latérale (et, plus généralement, la forme des faisceaux), il est nécessaire de disposer d'un dispositif de réglage précis des positions relatives du transducteur et de la cible. Ceci peut être réalisé en suspendant la cible par sa tige-support à un goniomètre de bonne qualité réglable dans les trois axes, sorte de dispositif que l'on trouve dans le commerce comme porte-outil de machine-outil ou micromanipulateur de laboratoire. Il faut s'assurer dans chaque cas que le système de suspension est rigide et qu'il n'est pas affecté par les vibrations ambiantes.

- 3) That the target strength of the wire (which is dependent on wire diameter and on its acoustic mismatch with the surrounding medium) is such as to provide echoes of amplitude well within the effective dynamic range of the equipment being tested.

These requirements, together with the variety of application parameters (particularly working frequency) which may need to be covered, make it impracticable to specify a universally acceptable test object. Provided, however, that proper provision is made for determining the spacing between wires, where this is required for a particular performance measurement, and also that the above-mentioned conditions (see Appendix A, Clauses A1, A2 and A3) are met, the precise form of construction of the test object should not affect the results of the measurements.

As a matter of practical guidance, wires of stainless steel of approximately 100 µm diameter, or of nylon of approximately 200 µm diameter (readily available as fishing line) generally provide adequate target strength combined with easily achievable straightness under moderate tension. Data on uniformity and shape of cross-section need to be obtained. Use of wires with unnecessarily large diameter may lead to echoes with undesirably complex structures and to possible masking of one wire by another. Also, resonance may occur.

#### A4. Spherical test objects

For purposes of spatial resolution measurement in A-mode (Sub-clauses 8.2 and 8.3) it is necessary to use a spherical test object. A suitable and readily obtainable form of such an object is a stainless steel ball. This may be mounted by means of a suitable adhesive, by attachment to the end of a mounting rod. This rod should have a diameter no more than half that of the ball and, in use, the point of attachment should be on the side of the ball furthest from the transducer under investigation.

In practice, a sphere will appear to a given transducer as a target of non-zero size and for a measurement of a lateral resolution of value  $r$  it is desirable that the apparent target size is not greater than  $0.25r$ . Since (by simple ray geometry) the apparent size of a spherical target of diameter  $d$  situated at a distance  $L$  from a circular transducer element of diameter  $D$  is given approximately by  $dD/4L$ , we have the requirement:

$$\frac{dD}{L} < r$$

For applications in which diffractive effects are likely to influence the results of a measurement, and particularly in the determination of axial resolution (see Sub-clause 8.2) it is desirable to work in conditions which avoid a significant frequency dependence of target reflectivity. For a steel sphere in water this appears to be satisfied within  $\pm 1$  dB for  $d > 5 \text{ MHz}/f$ , where  $f$  is the working frequency in megahertz (see Appendix D, reference 8) and  $d$  is in millimetres.

For measurement of lateral resolution (and more generally, beam profiles) it will be necessary to provide a precisely controllable means for adjusting the relative positions of transducer and target. This may be achieved by suspending the target, by means of the mounting rod, from a good quality three-orthogonal coordinate positioning device. Such devices are commercially available for positioning of elements of machine tools and as laboratory micro-manipulators. In any case, care should be taken in detailed design to ensure that the suspension system is rigid and unaffected by ambient vibration.

## ANNEXE B

## ATTÉNUATEUR HAUTE FRÉQUENCE

Plusieurs mesures exposées dans ce document nécessitent l'utilisation d'un atténuateur, correctement adapté et étalonné qui est incorporé au système échographique. Bien que nombre d'appareils de diagnostic en usage courant comprennent cette possibilité sous une forme ou une autre, il est souhaitable de vérifier indépendamment la justesse de l'étalonnage.

Il existe plusieurs manières de connecter ce genre d'atténuateur:

- 1) entre le générateur d'impulsions électriques et le transducteur;
- 2) entre le transducteur et le premier étage d'amplification à fréquence radioélectrique;
- 3) en un point intermédiaire des circuits d'amplification f.r. ou des circuits émetteurs (soit après le préamplificateur ou avant l'étage de puissance final); ou encore
- 4) dans la liaison commune entre le transducteur et le circuit électrique.

Le rôle joué par l'atténuateur installé à l'un des points précités est équivalent si les précautions convenables sont prises. Chacun de ces quatre montages soulève ses propres problèmes. Les deux premiers peuvent produire des fuites internes qui court-circuitent le signal hors de l'atténuateur dont les lectures perdent de la précision pour les fortes valeurs d'affaiblissement. Le niveau relativement élevé des échos obtenus avec les interfaces plans normaux de réflexion nécessitent un affaiblissement global généralement supérieur à 120 dB.

Avec le troisième mode de montage, le niveau des signaux doit être suffisamment faible pour ne pas surcharger l'étage préamplificateur quand l'atténuateur est placé après cet étage et le récepteur. Dans ce cas, en conséquence, il convient de prendre un modèle d'interface plan normal de réflexion dont le coefficient de réflexion est suffisamment faible pour satisfaire à la condition imposée (voir annexe A, article A2). Le branchement à l'intérieur de l'émetteur n'entraîne pas de problèmes particuliers quoique les échographes cliniques courants produisent l'impulsion au niveau de l'étage de sortie, ce qui ne permet pas de connecter l'atténuateur au niveau d'étages intermédiaires.

Le quatrième mode de montage est très souvent utilisé car c'est le seul qui autorise le branchement de l'atténuateur sans que l'on ait à modifier matériellement l'appareillage existant. Etant donné que l'adaptation d'impédance ne peut se faire généralement que sur le circuit électronique de l'atténuateur, les lectures prises sur ce dernier ne seront plus absolues, mais les lectures relatives, c'est-à-dire les différences entre les positions d'affaiblissement, seront néanmoins correctes. La quantité réelle d'affaiblissement devient le double de la grandeur affichée car le signal passe deux fois à travers l'atténuateur.

Le raccordement de l'atténuateur doit permettre son adaptation en impédance. Avec la plupart des atténuateurs courants en  $T$  ou en  $\pi$ , qui se composent de plusieurs sections résistives mises en ou hors circuit par des commutateurs bipolaires doubles, il est nécessaire de prévoir l'adaptation d'impédance voulue aux deux extrémités de l'atténuateur pour avoir des lectures correctes. Toutefois, les essais figurant dans ce rapport ne font appel qu'à des variations des valeurs d'affaiblissement et, dans ce cas, il est uniquement nécessaire que l'atténuateur soit bouclé à l'une de ses extrémités sur son impédance caractéristique, du fait que l'impédance de l'atténuateur demeure constante, vue de la portion extérieure, son extrémité étant désaccordée. Bien qu'elle ne soit pas indiquée par l'atténuateur, la perte d'adaptation à cette extrémité doit demeurer constante quoiqu'il soit bon de vérifier si c'est effectivement le cas.

Pour conserver une largeur de bande adéquate, il est recommandé que les appareils utilisent des atténuateurs à basse impédance adaptés à l'impédance caractéristique des lignes de transmission

## APPENDIX B

### HIGH-FREQUENCY ATTENUATOR

Several of the measurements described in this report call for the use of a correctly matched and calibrated attenuator as part of the echo-scope system. Although many of the diagnostic equipment systems now in use provide such facilities in some form, it is desirable to check the correctness of the calibration independently.

There are several possibilities for the connection of such an attenuator. These are:

- 1) between the electrical pulse generator and the transducer;
- 2) between the transducer and the first stage of r.f. amplification;
- 3) at some intermediate point in the r.f. amplification or transmitter circuits (e.g. following the preamplifier or before the final power amplifier); or
- 4) in the common lead which connects the transducer to the electrical circuitry.

The performance of the attenuator in any of the above positions is equivalent if suitable precautions are taken. There are a number of special problems peculiar to each of these four arrangements. The first two arrangements can result in internal leakage bypassing the signal around the attenuator and making its readings inaccurate at high attenuation settings. Because of the relatively strong echoes obtained from working standard interfaces, the total attenuation required is generally greater than 120 dB.

In the third arrangement, the signal levels shall be sufficiently small to prevent overload of the preamplifier stage when the attenuator follows the preamplifier and receiver. For this application, therefore, a design of working standard interface should be selected as having a reflection coefficient sufficiently low to satisfy the above requirement (see Appendix A, Clause A2). Internal connection within a transmitter is not subject to any particular problems except that current clinical echo-scopes generate a pulse in the output stage and provide no intermediate stages between which the attenuator can be connected.

The fourth position is quite commonly used since it may be the only available position for connection of an attenuator without physical modification of existing equipment. Because the impedance can generally only be matched on the electronic end of such an attenuator, its readings will not be correct in absolute terms, however, relative readings, i.e. differences in attenuator settings will still be correct. The actual change in attenuation is twice the indicated change because the signal goes through the attenuator twice.

Connection of the attenuator must provide for proper impedance terminations. In the most commonly used  $T$  or  $\pi$  attenuator, consisting of a multiplicity of resistor sections switched in and out by double pole, double throw switches, proper impedance termination is required at both ends of the attenuator for the readings to be correct. In the tests described in this report, however, only changes in attenuator readings are used and in this case it is necessary only to terminate the attenuator by its characteristic impedance at one end. This follows because the impedance of the attenuator as viewed from the external portion of the mismatched end will be constant. The mismatch loss at this end, although not indicated by the attenuator, should remain constant, but it will be advisable to check that this is in fact the case.

To maintain adequate bandwidth, it is recommended that systems employ low impedance attenuators matched to the characteristic impedance of the transmission lines (usually 50  $\Omega$ ) used in

(généralement des câbles coaxiaux à  $50 \Omega$ ) utilisées dans le système. Il convient d'utiliser comme terminaisons des résistances non inductives au carbone ayant une tolérance qui ne dépasse pas 50%. La capacité en parallèle sur les terminaisons doit être assez faible pour que la réactance parallèle soit au minimum égale à 20 fois la valeur de la résistance.

---

the system. Non-inductive carbon resistors of not greater than 5% tolerance should be used as terminations. Shunt capacitance at the termination end should be small enough to provide a shunting reactance at least 20 times the value of the resistance.



## ANNEXE C

## FRÉQUENCE DE FONCTIONNEMENT

La fréquence nominale ne constitue pas toujours un critère satisfaisant pour évaluer le fonctionnement d'un système à échos d'impulsions en ce qui intéresse le coefficient d'affaiblissement du faisceau en fonction de l'épaisseur des tissus traversés, ceci pour deux raisons:

- a) parce que l'énergie acoustique se répartit, en règle générale, en un spectre assez large sur lequel l'affaiblissement dû aux tissus joue le rôle d'un filtre passe-bas électif;
- b) car la fréquence centrale réelle de ce spectre (quelle que soit sa définition) peut être très différente de la fréquence nominale.

Ce problème peut être résolu de plusieurs manières, mais aucune d'entre elles n'est entièrement satisfaisante. La solution totale consiste à mesurer le spectre acoustique entier du signal avec un analyseur de spectre ou en faisant appel à une méthode de balayage par salves de fréquence, ce qui aboutit toutefois à une série complète de données plutôt qu'à une valeur unique de la fréquence réelle.

On peut également obtenir des valeurs de la fréquence centrale et de la bande passante de cette manière, comme des informations sur la forme du spectre qui présentent une importance majeure en pratique, particulièrement avec les transducteurs à large bande.

Une autre méthode adoptée par certains chercheurs, en particulier en ophtalmologie, consiste à utiliser, comme critère de coefficient d'affaiblissement dû aux tissus, celui de l'énergie acoustique dans un matériau standard comme l'huile de pétrole. Toutefois, cette méthode souffre d'un sérieux handicap étant donné que les matériaux standard capables de simuler les tissus humains mous avec une bonne approximation quant à la variation de l'affaiblissement en fonction de la fréquence n'en sont qu'aux premiers stades de développement et ne se trouvent pas aisément.

Une troisième solution consiste à mesurer la fréquence des passages au zéro de l'onde d'écho acoustique en fonction du temps. Cette méthode peut également introduire des anomalies, en particulier si l'on prend pour des passages au zéro des ondulations affectant la forme d'onde.

Il demeure évidemment nécessaire de faire des recherches pratiques sur les mérites comparés de ces diverses solutions. La définition de la fréquence de fonctionnement fondée sur la mesure des passages au zéro qui est donnée ci-dessus est indiquée à titre provisoire comme susceptible d'être un meilleur guide dans l'évaluation des performances que le recours insuffisamment critique à une fréquence nominale.

Quand on n'obtient pas de résultats cohérents avec la méthode qui fait appel à la fréquence de fonctionnement, on peut en remplacement utiliser une méthode fondée sur la formule définissant la valeur vraie de la fréquence  $f_{\text{eff}}$ :

$$f_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\int [dA(t)/dt]^2 dt}{\int [dA(t)]^2 dt} \right]^{1/2} \quad (\text{C.1})$$

où  $A(t)$  est l'amplitude du signal reçu au temps  $t$ .

## APPENDIX C

## WORKING FREQUENCY

The nominal frequency is not always a satisfactory criterion for assessing the performance of a pulse-echo system in relation to the rate of attenuation of the beam with depth in tissue. This is for two reasons:

- a) because the acoustic energy is generally spread over a rather wide spectrum, on which tissue attenuation operates as a distributed low-pass filter,
- b) because the effective centre frequency of this spectrum (however defined) is often significantly different from the nominal frequency.

Several solutions to this problem exist although none is entirely satisfactory. A complete solution is to measure the full acoustic spectrum either with a spectrum analyzer or by a swept frequency tone-burst method, however, this leads to a set of data rather than to a single value for effective frequency.

Values for centre frequency and bandwidth may be derived in this way, along with other information on spectral shape. This information is of major practical importance, particularly for broad band transducers.

Another approach adopted by some workers, particularly in ophthalmology, is to use, as a criterion for rate of attenuation in tissue, the rate of attenuation of acoustic energy in a standard material such as paraffin oil. This presents a serious difficulty, however, in that standard materials closely matching human soft tissues in their mode of dependence of acoustic attenuation on frequency are only in the early stages of development and are not generally available.

A third approach is to measure zero-crossing frequency of the acoustic echo, observed in the time domain. This method can again introduce anomalies, particularly if ripples on the waveform register as zero-crossings.

There is evidently a need for practical investigations to be made on the comparative merits of the approaches. The above definition of working frequency, based on the zero-crossing approach, is given for the time being as one that is likely to provide a better guide to performance than the uncritical use of nominal frequency.

An alternative approach to the measurement of an effective value of frequency,  $f_{\text{eff}}$ , when the above method for working frequency is not found to give a consistent result, is based on the definition:

$$f_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi} \left[ \frac{\int [dA(t)/dt]^2 dt}{\int [dA(t)]^2 dt} \right]^{1/2} \quad (\text{C.1})$$

Where  $A(t)$  is the amplitude of the received signal at time  $t$ .

On peut obtenir une estimation pratique de la grandeur  $f_{\text{eff}}$  qui constitue la mesure rationnelle de la vitesse de variation de l'amplitude d'écho en prenant un échantillonnage de valeur de  $A(t)$  à une série de temps  $t_i$  suivant l'intervalle d'échantillonnage  $\tau$ , d'où:

$$t_i = i\tau \tag{C.2}$$

$i$  étant un entier, d'où la relation approximative ci-après:

$$f_{\text{eff}} = \frac{1}{2\pi \tau} \left[ \frac{\sum_{i=1}^n B_i^2}{\sum_{i=1}^n A_i^2} \right]^{1/2} \tag{C.3}$$

où  $A_i = A(t_i)$

$B_i = A_i - A_{i-1}$

et  $\tau < \frac{1}{10} f_{\text{eff}}$  (pour avoir un échantillonnage suffisant).

La figure C1, qui reproduit l'enregistrement photographique d'un oscillogramme relevé en mode A, illustre la méthode exposée ci-dessus.

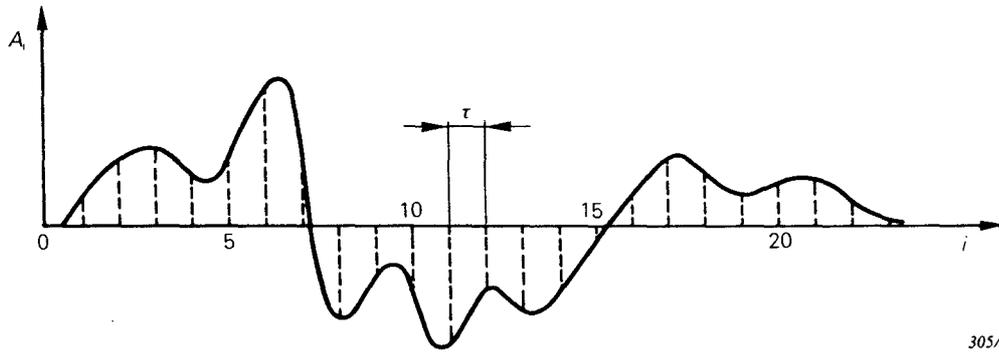


FIG. C1. — Illustration de la méthode exposée pour déterminer  $f_{\text{eff}}$ .



## ANNEXE D

## RÉFÉRENCES

- [1] Carson, P. L.: Rapid evaluation of many pulse-echo system characteristics by use of a triggered pulse burst generator with exponential decay (Estimation rapide de plusieurs caractéristiques des systèmes à échos d'impulsions à l'aide d'un générateur à déclenchement de salves d'impulsions à décroissance exponentielle), *J. Clin. Ultras.* 4, pp. 259-263 (1976).
- [2] Erikson, K. R., Fry, F. J. and Jones, J. P.: Ultrasound in medicine — a review (Les ultrasons en médecine — une étude générale), *IEEE Trans. Sonics Ultrasonics* 21, pp. 144-170 (1974).
- [3] Filipczynski, L.: Electroacoustic problems of ultrasonic diagnostic methods. Ultrasonics in Medicine (Problèmes d'électroacoustique rattachés aux méthodes de diagnostic ultrasonore) (Edité par M. de Vlieger, Amsterdam), *Excerpta Medica*, pp. 25-29 (1973).
- [4] Fox, F. E. and Rock, G. D.: Ultrasonic absorption in water (De l'absorption des ultrasons dans l'eau), *Journal of the Acoustical Society of America* 12, pp. 505-512 (1940).
- [5] Fox, F. E. and Rock, G. D.: Compressional viscosity and sound absorption in water at different temperatures (Viscosité en compression et absorption du son dans l'eau à diverses températures), *Phys. Rev.* (2), 70, pp. 68-73 (1946).
- [6] Giacomini, A.: Ultrasonic velocity in ethanol-water mixtures (Vitesse des ultrasons dans les mélanges eau-éthanol), *Journal of the Acoustical Society of America* 19, pp. 701-702 (1947).
- [7] Hall, A. J. and Fleming, J. E. E.: A timing calibration standard for ultrasonic equipment (Un étalon temporel d'étalonnage pour l'appareillage ultrasonore), *Br. J. Radiol.* 47, p. 512 (1974).
- [8] Hasegawa, T. and Yosioka, K.: Acoustic radiation force on a solid sphere (Intensité du rayonnement acoustique sur une sphère pleine), *Journal of the Acoustical Society of America* 46, p. 1139 (1969).
- [9] Lypacewicz, G. and Hill, C. R.: Choice of standard target for medical pulse echo equipment evaluation (Choix d'une cible étalon pour l'estimation des matériels médicaux à échos d'impulsions), *Ultrasound Med. and Biol.*, 1, pp. 287-289 (1974).
- [10] Pickering, N. C. and Dunbar, L.: A practical standard reflector using carbon tetrachloride (Un réflecteur étalon pratique au tétrachlorure de carbone), *Ultrasound in Medicine* 3B (Edité par D. N. White et R. E. Brown), Plenum Press, New York/London, pp. 2175-2177 (1977).
- [11] Pinkerton, J. M. M.: A pulse method for the measurement of ultrasonic absorption in liquids: results for water (Une méthode de mesure de l'absorption des ultrasons dans les liquides par impulsions: résultats pour l'eau), *Nature*, 160, pp. 128-129 (1947).
- [12] Reuter, R.: Klinisch einsetzbares Verfahren zur ergänzenden Prüfung von Ultraschall-Diagnostikgeräten (Méthode d'essai complémentaire des appareils de diagnostic à ultrasons utilisables cliniquement), *Ultraschalldiagnostik in der Medizin*, Thiemen Verlag, pp. 227-229, Stuttgart (1980).
- [13] Carson, P. L., Zagzebski, J.: Pulse-echo ultrasound imaging systems: Performance tests and criteria (Dispositifs d'imagerie à échos d'impulsions ultrasonores: Essais pour la détermination des caractéristiques et critères), *Rapport n° 8 de l'AAPM* (American Association of Physicists in Medicine) (1980).

## APPENDIX D

## REFERENCES

- [1] Carson, P. L.: Rapid evaluation of many pulse-echo system characteristics by use of a triggered pulse burst generator with exponential decay), *J. Clin. Ultras.* 4, pp. 259-263 (1976).
- [2] Erikson, K. R., Fry, F. J. and Jones, J. P.: Ultrasound in medicine — a review), *IEEE Trans. Sonics Ultrasonics* 21, pp. 144-170 (1974).
- [3] Filipczynski, L.: Electroacoustic problems of ultrasonic diagnostic methods. *Ultrasonics in Medicine* (Edited by M. de Vlieger, Amsterdam), *Excerpta Medica*, pp. 25-29 (1973).
- [4] Fox, F. E. and Rock, G. D.: Ultrasonic absorption in water, *Journal of the Acoustical Society of America* 12, pp. 505-512 (1940).
- [5] Fox, F. E. and Rock, G. D.: Compressional viscosity and sound absorption in water at different temperatures, *Phys. Rev.* (2), 70, pp. 68-73 (1946).
- [6] Giacomini, A.: Ultrasonic velocity in ethanol-water mixtures, *Journal of the Acoustical Society of America* 19, pp. 701-702 (1947).
- [7] Hall, A. J. and Fleming, J. E. E.: A timing calibration standard for ultrasonic equipment, *Br. J. Radiol.* 47, p. 512 (1974).
- [8] Hasegawa, T. and Yosioka, K.: Acoustic radiation force on a solid sphere, *Journal of the Acoustical Society of America* 46, p. 1139 (1969).
- [9] Lypacewicz, G. and Hill, C. R.: Choice of standard target for medical pulse echo equipment evaluation, *Ultrasound Med. and Biol.*, 1, pp. 287-289 (1974).
- [10] Pickering, N. C. and Dunbar, L.: A practical standard reflector using carbon tetrachloride, *Ultrasound in Medicine* 3B (Edited by D. N. White et R. E. Brown), Plenum Press, New York/London, pp. 2175-2177 (1977).
- [11] Pinkerton, J. M. M.: A pulse method for the measurement of ultrasonic absorption in liquids: results for water, *Nature*, 160, pp. 128-129 (1947).
- [12] Reuter, R.: Klinisch einsetzbares Verfahren zur ergänzenden Prüfung von Ultraschall-Diagnostikgeräten, *Ultraschalldiagnostik in der Medizin*, Thiemen Verlag, pp. 227-229, Stuttgart (1980).
- [13] Carson, P. L., Zagzebski, J.: Pulse-echo ultrasound imaging systems: Performance tests and criteria, *AAPM report No. 8* (American Association of Physicists in Medicine) (1980).

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.

---

**ICS 11.040.50 ; 17.140.50**

---