

RAPPORT TECHNIQUE TECHNICAL REPORT

**CEI
IEC
1220**

Première édition
First edition
1993-05

Ultrasons – Champs –

**Guide pour les mesures et caractéristiques
des champs ultrasonores produits par
des appareils médicaux à ultrasons
utilisant des hydrophones dans la gamme
de fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz**

Ultrasonics – Fields –

**Guidance for the measurement and
characterization of ultrasonic fields
generated by medical ultrasonic equipment
using hydrophones in the frequency
range 0,5 MHz to 15 MHz**



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 1220: 1993

Numéros des publications

Depuis le 1^{er} janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60 000.

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 60 000 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
1220**

Première édition
First edition
1993-05

Ultrasons – Champs –

**Guide pour les mesures et caractéristiques
des champs ultrasonores produits par
des appareils médicaux à ultrasons
utilisant des hydrophones dans la gamme
de fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz**

Ultrasonics – Fields –

**Guidance for the measurement and
characterization of ultrasonic fields
generated by medical ultrasonic equipment
using hydrophones in the frequency
range 0,5 MHz to 15 MHz**

© CEI 1993 Droits de reproduction réservés — Copyright — all rights reserved

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

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

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale 3, rue de Varembé Genève, Suisse



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

U

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

SOMMAIRE

	Pages
AVANT-PROPOS	4
INTRODUCTION	8
Articles	
1 Domaine d'application	10
2 Références normatives	10
3 Table de symboles	10
4 Types d'équipements ultrasonores à usage médical	12
4.1 Equipements à écho d'impulsions et équipements Doppler à impulsions	12
4.2 Ensembles à effet Doppler à ondes entretenues	14
4.3 Transducteurs à usage thérapeutique	16
5 Conditions de mesurage	18
5.1 Choix de la taille de l'élément actif d'un hydrophone	18
5.2 Longueur de câble et amplificateurs de l'hydrophone	20
5.3 Rotation de l'hydrophone	24
5.4 Positionnement de l'hydrophone	24
5.5 Elimination des effets de réflexion pour des hydrophones à membrane	24
6 Procédures simplifiées et directives	26
6.1 Procédures	26
6.2 Relations utiles entre paramètres acoustiques	28
7 Spécification des paramètres acoustiques	30
Annexes	
A Corrections de bande passante et d'intégration spatiale	34
B Bibliographie	54

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
INTRODUCTION	9
Clause	
1 Scope	11
2 Normative references	11
3 List of symbols	11
4 Types of medical ultrasonic equipment	13
4.1 Pulse-echo and pulsed Doppler equipment	13
4.2 Continuous-wave Doppler systems	15
4.3 Therapy transducers	17
5 Measuring conditions	19
5.1 Choice of size of the hydrophone active element	19
5.2 Hydrophone cable length and amplifiers	21
5.3 Rotation of the hydrophone	25
5.4 Hydrophone positioning	25
5.5 Avoiding reflection effects using membrane hydrophones	25
6 Simplified procedures and guidelines	27
6.1 Procedures	27
6.2 Useful relationships between acoustical parameters	29
7 Acoustic parameter specification	31
Annexes	
A Bandwidth and spatial-averaging corrections	35
B Bibliography	54

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ULTRASONS – CHAMPS –

GUIDE POUR LES MESURES ET CARACTÉRISTIQUES DES CHAMPS ULTRASONORES PRODUITS PAR DES APPAREILS MÉDICAUX À ULTRASONS UTILISANT DES HYDROPHONES DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES DE 0,5 MHz À 15 MHz

AVANT-PROPOS

- 1) La CEI (Commission Electrotechnique Internationale) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI, entre autres activités, publie des Normes internationales. Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par les comités d'études 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.
- 3) Ces décisions constituent des recommandations internationales publiées sous forme de normes, de rapports techniques ou de guides et agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 4) Dans le but d'encourager l'unification internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent à appliquer de façon transparente, dans toute la mesure possible, les Normes internationales de la CEI dans leurs normes nationales et régionales. Toute divergence entre la norme de la CEI et la norme nationale ou régionale correspondante doit être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

La tâche principale des comités d'études de la CEI est d'élaborer des Normes internationales. Exceptionnellement, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique de l'un des types suivants:

- type 1, lorsque, en dépit de maints efforts, l'accord requis ne peut être réalisé en faveur de la publication d'une Norme internationale;
- type 2, lorsque le sujet en question est encore en cours de développement technique ou lorsque, pour une raison quelconque, la possibilité d'un accord pour la publication d'une Norme internationale peut être envisagée pour l'avenir mais pas dans l'immédiat;
- type 3, lorsqu'un comité d'études a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

Les rapports techniques de types 1 et 2 font l'objet d'un nouvel examen trois ans au plus tard après leur publication afin de décider éventuellement de leur transformation en Normes internationales. Les rapports techniques de type 3 ne doivent pas nécessairement être révisés avant que les données qu'ils contiennent ne soient plus jugées valables ou utiles.

La CEI 1220, rapport technique de type 2, a été établie par le comité d'études 87 de la CEI: Ultrasons.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ULTRASONICS – FIELDS –

**GUIDANCE FOR THE MEASUREMENT AND
CHARACTERIZATION OF ULTRASONIC FIELDS
GENERATED BY MEDICAL ULTRASONIC
EQUIPMENT USING HYDROPHONES IN
THE FREQUENCY RANGE 0,5 MHz TO 15 MHz**

FOREWORD

- 1) The IEC (International Electrotechnical Commission) is a world wide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of the IEC is to promote international cooperation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, the IEC publishes International Standards. Their preparation is entrusted to Technical Committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. The IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by technical committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 3) They have the form of recommendations for international use published in the form of standards, technical reports or guides and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 4) In order to promote international unification, IEC National Committees undertake to apply IEC International Standards transparently to the maximum extent possible in their national and regional standards. Any divergence between the IEC Standard and the corresponding national or regional standard shall be clearly indicated in the latter.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. In exceptional circumstances, a technical committee may propose the publication of a technical report of one of the following types:

- type 1, when the required support cannot be obtained for the publication of an International Standard, despite repeated efforts;
- type 2, when the subject is still under technical development or where for any other reason there is the future but not immediate possibility of an agreement on an International Standard;
- type 3, when a technical committee has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

Technical Reports of types 1 and 2 are subject to review within three years of publication to decide whether they can be transformed into International Standards. Technical reports of type 3 do not necessarily have to be reviewed until the data they provide are considered to be no longer valid or useful.

IEC 1220, which is a technical report of type 2, has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics.

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet de comité	Rapport de vote
87(SEC)33	87(SEC)50

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

Le présent document est publié dans la série des rapports techniques de type 2 (conformément au paragraphe G.4.2.2 de la partie 1 des Directives CEI/ISO) comme «norme prospective d'application provisoire» dans le domaine des ultrasons car il est urgent d'avoir des indications sur la meilleure façon d'utiliser les normes dans ce domaine afin de répondre à un besoin déterminé.

Ce document ne doit pas être considéré comme une «Norme internationale». Il est proposé pour une mise en oeuvre provisoire, dans le but de recueillir des informations et d'acquérir de l'expérience quant à son application dans la pratique. Il est de règle d'envoyer les observations éventuelles relatives au contenu de ce document au Bureau Central de la CEI.

Il sera procédé à un nouvel examen de ce rapport technique de type 2 trois ans au plus tard après sa publication, avec la faculté d'en prolonger la validité pendant trois autres années, de le transformer en Norme internationale ou de l'annuler.

L'annexe A fait partie intégrante de ce rapport technique.

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

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

Committee Draft	Report on Voting
87(SEC)33	87(SEC)50

Full information on the voting for the approval of this technical report can be found in the report(s) on voting indicated in the above table.

This document is issued in the type 2 technical report series of publications (according to G.4.2.2 of part 1 of the IEC/ISO Directives) as a "prospective standard for provisional application" in the field of ultrasonics because there is an urgent requirement for guidance on how standards in this field should be used to meet an identified need.

This document is not to be regarded as an "International Standard". It is proposed for provisional application so that information and experience of its use in practice may be gathered. Comments on the content of this document should be sent to the IEC Central Office.

A review of this type 2 technical report will be carried out not later than three years after its publication, with the options of either extension for a further three years or conversion to an International Standard or withdrawal.

Annex A forms an integral part of this technical report.

Annex B is for information only.

INTRODUCTION

La CEI 1102 traite des champs ultrasonores en général. Pour les ultrasons utilisés dans le domaine médical, il est nécessaire de fournir des directives relatives au choix du groupe de paramètres acoustiques le plus approprié et le plus significatif scientifiquement parlant pour ce qui concerne la caractérisation des divers types de champs ultrasonores. Cette nécessité provient du fait que les dispositifs de diagnostic à écho d'impulsion, les ensembles à effet Doppler et les transducteurs à usage thérapeutique émettent des ultrasons sur la base de pressions acoustiques, et de caractéristiques spatiales et temporelles différentes. Par conséquent, certains des paramètres auxquels la publication CEI 1102 fait référence sont appropriés pour tous les équipements, alors que d'autres ne le sont que pour certains types d'équipements. Le présent rapport technique fournit des informations d'ordre général sur le mesurage des champs ultrasonores créés par des équipements ultrasonores à usage médical. Il fournit également des directives quant au choix de l'hydrophone le plus approprié à utiliser et des paramètres acoustiques les plus appropriés à mesurer.

Les procédures de mesurage décrites dans les articles 5 et 6 de la publication CEI 1102 sont censées produire les résultats les plus justes, mais sont particulièrement exigeantes quant à la précision et aux degrés de liberté requis pour les systèmes de positionnement des hydrophones ou des transducteurs. Ces prescriptions peuvent toutefois être assouplies pour certains mesurages, ce qui permet l'utilisation de systèmes de caractérisation moins complexes. Le présent rapport technique fournit des directives concernant ces divers aspects.

Enfin, il est souvent nécessaire d'utiliser des hydrophones pouvant présenter une bande passante limitée ou des éléments actifs trop importants. Le présent rapport technique fournit des directives concernant l'estimation des corrections de bande passante et d'intégration spatiale.

INTRODUCTION

IEC 1102 deals with ultrasonic fields in general. For medical ultrasound, there is a need to provide guidance for the choice of the most appropriate and scientifically meaningful group of acoustic parameters for the characterization of the various types of ultrasonic fields. This requirement arises from the fact that pulse-echo diagnostic, Doppler and therapeutic transducers emit ultrasound at different acoustic pressures and with different spatial and temporal characteristics. Consequently, some of the parameters referred to in IEC 1102 are appropriate to all equipment whilst others are appropriate to only certain types of equipment. This technical report provides general information on the measurement of ultrasonic fields generated by medical ultrasonic equipment. It also provides guidance for the choice of the most appropriate hydrophone to use and the most appropriate acoustical parameters to be measured.

Measurement procedures described in clauses 5 and 6 of IEC 1102 are believed to provide the most accurate results, but are particularly demanding on precision and degrees of freedom required for the hydrophone or transducer positioning systems. For certain measurements these requirements may be relaxed, thereby enabling simpler characterization systems to be used. This technical report provides guidance for these various aspects.

Finally, it is often necessary to use hydrophones which may have limited bandwidth or ones with active elements which are too large. This technical report gives guidance for estimating bandwidth and spatial-averaging corrections.

ULTRASONS – CHAMPS –

GUIDE POUR LES MESURES ET CARACTÉRISTIQUES DES CHAMPS ULTRASONORES PRODUITS PAR DES APPAREILS MÉDICAUX À ULTRASONS UTILISANT DES HYDROPHONES DANS LA GAMME DE FRÉQUENCES DE 0,5 MHz À 15 MHz

1 Domaine d'application

Le présent rapport technique fournit des directives quant au mesurage pratique de la sortie acoustique de divers types d'équipements ultrasonores à usage médical fonctionnant dans la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz et basés sur l'utilisation d'hydrophones.

Il fournit des procédures simplifiées et des directives concernant le mesurage de la sortie acoustique des équipements ultrasonores à usage médical.

Ce rapport technique fournit également des procédures destinées à la correction des restrictions provoquées par l'utilisation d'hydrophones dotés d'une bande passante limitée et présentant des dimensions d'élément actif également limitée.

2 Références normatives

Les documents normatifs suivants contiennent des dispositions qui, par suite de la référence qui y est faite, constituent des dispositions valables pour le présent rapport technique. Au moment de la publication, les éditions indiquées étaient en vigueur. Tout document normatif est sujet à révision et les parties prenantes aux accords fondés sur le présent rapport technique sont invitées à rechercher la possibilité d'appliquer les éditions les plus récentes des documents normatifs indiqués ci-après. Les membres de la CEI et de l'ISO possèdent le registre des Normes internationales en vigueur.

CEI 1101: 1991, *L'étalonnage et caractérisation des champs ultrasonores à l'aide d'hydrophones dans la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz*

CEI 1102: 1991, *Mesurage et caractérisation des champs ultrasonores à l'aide d'hydrophones dans la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 15 MHz*

Amendement 1, Définitions de termes supplémentaires et prescriptions spécifiques concernant la caractérisation des champs des transducteurs ultrasonores possédant des éléments actifs cylindriques ou sphériques (à l'étude)

CEI 1161: 1992, *Mesurage de la puissance ultrasonore dans les liquides dans la gamme de fréquences de 0,5 MHz à 25 MHz*

3 Table de symboles

$a_{\max}$	Rayon apparent maximal d'un élément actif d'hydrophone
a_1	Rayon apparent d'un transducteur ultrasonore
C	Facteur de correction d'intégration spatiale

ULTRASONICS – FIELDS –

GUIDANCE FOR THE MEASUREMENT AND CHARACTERIZATION OF ULTRASONIC FIELDS GENERATED BY MEDICAL ULTRASONIC EQUIPMENT USING HYDROPHONES IN THE FREQUENCY RANGE 0,5 MHz TO 15 MHz

1 Scope

This technical report provides guidance on the practical measurement of the acoustic output of various types of medical ultrasonic equipment in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz based on the use of hydrophones.

It gives simplified procedures and guidelines for the measurement of the acoustic output of medical ultrasonic equipment.

Procedures for correcting for limitations caused by the use of hydrophones with finite bandwidth and finite active element size are also given.

2 Normative references

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

IEC 1101: 1991, *The absolute calibration of hydrophones using the planar scanning technique in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz*

IEC 1102: 1991, *Measurement and characterization of ultrasonic fields using hydrophones in frequency range of 0,5 MHz to 15 MHz*
Amendment 1, Definitions of additional terms and specific requirements for the characterization of fields from ultrasonic transducers having cylindrical or spherical active elements (under consideration)

IEC 1161: 1992, *Ultrasonic power measurement in liquids in the frequency range 0,5 MHz to 25 MHz*

3 List of symbols

$a_{\max}$	Maximum effective radius of a hydrophone active element
a_1	Effective radius of an ultrasonic transducer
C	Spatial-averaging correction factor

I_{spta}	Intensité crête spatiale moyenne temporelle
I_{sppa}	Intensité crête spatiale moyenne sur l'impulsion
l	Distance entre un transducteur et un hydrophone de mesure
p_-	Pression acoustique négative de crête
p_+	Pression acoustique positive de crête
p_i	Intégrale du carré de la pression sur l'impulsion
p_{spr}	Pression acoustique efficace crête spatiale
p_{spp}	Pression acoustique crête spatiale moyenne sur l'impulsion
p	Puissance ultrasonore totale
p_{beam}	Puissance totale émise par une ligne de balayage acoustique pour un dispositif de balayage automatique
pr	Fréquence de répétition de l'impulsion
s_s	Séparation entre lignes de balayage ultrasonore dans le plan considéré
t_d	Durée de l'impulsion
α	Rapport entre la largeur de faisceau -6 dB et le diamètre apparent de l'hydrophone
σ	Paramètre de propagation non-linéaire

4 Types d'équipements ultrasonores à usage médical

4.1 Equipements à écho d'impulsions et équipements Doppler à impulsions

La sortie acoustique des équipements de diagnostic à écho d'impulsions consiste généralement en une impulsion d'ultrason unique à une fréquence de fonctionnement acoustique comprise entre 1 MHz et 12 MHz, et à une fréquence de répétition de l'impulsion comprise entre 1 kHz et 5 kHz. Les équipements Doppler à impulsions présentent généralement une impulsion acoustique composée d'un certain nombre de cycles survenant à une fréquence de répétition de l'impulsion similaire à celle des équipements à écho d'impulsions ou éventuellement plus élevée que celle-ci. Sur les deux types d'équipements, les ultrasons sont généralement focalisés à une distance du transducteur comprise entre quelques centimètres et 20 cm, et la pression acoustique de crête au niveau de la focalisation est généralement comprise entre 0,2 MPa et 10 MPa. Tandis que les dispositifs de balayage à dipôles alignés, à balayage sectoriel et par déphasage émettent des impulsions consécutives sur des lignes de balayage ultrasonore différentes, la forme d'onde d'impulsion acoustique demeure à peu près constante.

En ce qui concerne les équipements à écho d'impulsions, le diamètre focal est généralement inférieur à 3 mm et, comme l'indique le paragraphe 5.1, un hydrophone doté d'un élément actif d'environ 0,5 mm de diamètre est prescrit, et un alignement relativement précis de l'hydrophone est nécessaire. La CEI 1102 spécifie pour les systèmes de positionnement une reproductibilité de $\pm 0,01$ mm pour trois réglages orthogonaux de l'hydrophone (ou du transducteur si ce dernier correspond à l'élément balayé). En pratique, la précision et la reproductibilité des systèmes de positionnement revêt une importance plus grande dans le sens perpendiculaire au sens de la propagation, $\pm 0,05$ mm convenant dans la plupart des cas. Dans le sens de la propagation, une précision de $\pm 0,1$ mm convient pour la plupart des situations de mesure. La plus grande précision serait nécessaire pour les champs hautement focalisés (grande largeur d'ouverture), ainsi que pour les fréquences élevées (voir 5.4).

I_{spta}	Spatial-peak temporal-average intensity
I_{sppa}	Spatial-peak pulse-average intensity
l	Distance between a transducer and a measuring hydrophone
p_-	Peak-negative acoustic pressure
p_+	Peak-positive acoustic pressure
p_i	Pulse-pressure-squared integral
p_{spr}	Spatial-peak r.m.s. acoustic pressure
p_{spp}	Spatial-peak pulse acoustic pressure
p	Total ultrasonic power
p_{beam}	Total power emitted by one acoustic scan line for an automatic scanner
pr	Pulse repetition rate
s_s	Separation between ultrasonic scan lines in the plane considered
t_d	Pulse duration
α	Ratio of the –6 dB beam-width to the effective hydrophone diameter
σ	Non-linear propagation parameter

4 Types of medical ultrasonic equipment

4.1 Pulse-echo and pulsed Doppler equipment

The acoustic output of pulse-echo diagnostic equipment usually consists of a single pulse of ultrasound at an acoustic working frequency in the range 1 MHz to 12 MHz, and at pulse repetition rates of between 1 kHz and 5 kHz. Pulsed Doppler equipment usually has an acoustic pulse consisting of a number of cycles at pulse repetition rates similar to or perhaps higher than pulse-echo equipment. In both types of equipment, the ultrasound is usually focused at distances from the transducer of between a few centimetres and 20 cm, and the peak acoustic pressure at the focus is usually between 0,2 MPa and 10 MPa. Whilst linear-array, sector and phased-array scanners emit consecutive pulses along different ultrasonic scan lines, the acoustic pulse waveform remains approximately constant.

For pulse-echo equipment, the focal diameter is usually less than about 3 mm and, as seen from 5.1, a hydrophone with an active element of diameter approximately 0,5 mm is required and a relatively precise alignment of the hydrophone is necessary. IEC 1102 specifies reproducibility of the positioning systems of $\pm 0,01$ mm for three orthogonal adjustments for the hydrophone (or transducer if the latter is the item that is scanned). In practice, the accuracy and reproducibility of positioning systems is most important in the direction perpendicular to the propagation direction and in most cases $\pm 0,05$ mm is often adequate. In the propagation direction, an accuracy of $\pm 0,1$ mm is often adequate for most measurement situations. The highest accuracy would be required for highly focused fields (wide aperture) and at high frequencies (see 5.4).

Lorsque les pressions acoustiques sont élevées, le paramètre de propagation non linéaire σ_m (voir 3.25 de la CEI 1102) est généralement supérieur à 0,5, auquel cas la prescription relative à la bande passante de l'hydrophone revêt une importance plus grande et des exigences supplémentaires quant à l'alignement angulaire doivent être satisfaites, du fait que sa réponse directionnelle est tributaire de la fréquence. En pareil cas, il est important d'optimiser la rotation de l'hydrophone afin de garantir la réception du signal maximal (voir 5.3).

En règle générale, les principales exigences relatives aux équipements de diagnostic se situent au niveau de la bande passante de l'hydrophone et du système de positionnement des coordonnées. Les hydrophones PVDF de type membrane ou sonde sont essentiels (voir A.1.4 de la CEI 1102).

Etant donné que les mesurages en vue de déterminer la sortie maximale sont entrepris dans le plan contenant la pression acoustique crête spatiale crête temporelle, ce plan est supposé être proche du point de focalisation du transducteur. A des distances focales types, la relation quadratique entre la pression acoustique et l'intensité est généralement posée comme hypothèse en vue de déduire les paramètres d'intensité. Cette hypothèse est posée malgré l'incertitude associée à la distorsion non linéaire qui peut se produire.

4.2 Ensembles à effet Doppler à ondes entretenues

Les fréquences relatives aux ensembles à effet Doppler à ondes entretenues se situent entre 2 MHz et 10 MHz, et il est possible d'utiliser une lentille acoustique pour focaliser les ultrasons à une distance de 8 cm maximum de la face du transducteur. Les pressions acoustiques de crête sont généralement inférieures à 0,1 MPa et, par conséquent, le paramètre de propagation non linéaire est habituellement inférieur à 0,5, et il n'est pas nécessaire d'utiliser un hydrophone à large bande. Les diamètres focaux peuvent être inférieurs à 3 mm et, comme l'indique le paragraphe 5.1, un hydrophone équipé d'un élément actif d'un diamètre inférieur ou égal à 0,5 mm est prescrit. Pour les appareils à fréquences plus élevées, il peut être nécessaire de faire subir une rotation à l'hydrophone lorsque les mesurages ont lieu à des distances de l'axe acoustique supérieures au rayon du transducteur (voir 5.3). Dans le cas des moniteurs fœtaux, le faisceau acoustique est souvent divergent et la pression acoustique de crête intervient généralement au niveau de la face du transducteur ultrasonore. En pareil cas, l'approximation d'onde progressive plane habituellement utilisée pour l'intensité ultrasonore n'est pas valable (voir 8.2 de la CEI 1102). Par conséquent, seuls les paramètres de pression acoustique peuvent être spécifiés, sauf si l'on établit un compromis. Ce compromis consiste à entreprendre des mesurages dans un plan ne contenant pas la pression acoustique crête spatiale crête temporelle dans la totalité du champ acoustique, et à une distance telle que l'approximation d'onde progressive plane relative à l'intensité puisse être admise. Même s'il n'est pas strictement approprié pour un champ ultrasonique focalisé, le critère fourni en référence [1]* pour un transducteur plan à piston peut être utilisé pour estimer la différence entre l'intensité réelle et l'intensité dérivée du carré de la pression acoustique. Un compromis acceptable consiste à entreprendre les mesurages à une distance de la face du transducteur ultrasonore égale à une à deux fois le diamètre de l'élément du transducteur. Pour un transducteur plan à piston, ceci génère des erreurs de 4 % et < 2 % pour ces deux cas.

* Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie donnée en annexe B.

As the acoustic pressures are high, the non-linear propagation parameter σ_m (see 3.25 of IEC 1102) will usually be greater than 0,5, in which case the bandwidth requirement for the hydrophone is greater and additional demands are placed on the angular alignment because of the dependence of this directional response on frequency. Under these conditions, it is important to optimise the rotation of the hydrophone to ensure the maximum received signal (see 5.3).

In general, diagnostic equipment places the greatest demand on the hydrophone bandwidth and on the coordinate positioning system. PVDF hydrophones of the membrane or probe type are essential (see A.1.4 of IEC 1102).

As measurements for the purpose of determining the maximum output are undertaken in the plane containing the spatial-peak temporal-peak acoustic pressure, this plane is expected to be close to the focus of the transducer. At typical focal distances, the square law relationship between acoustic pressure and intensity is usually assumed in order to derive intensity parameters. This assumption is made despite the uncertainty associated with the non-linear distortion that can take place.

4.2 Continuous-wave Doppler systems

Frequencies for continuous-wave Doppler systems are usually between 2 MHz and 10 MHz, and an acoustic lens may be used to focus the ultrasound at distances from the transducer face of up to 8 cm. Peak acoustic pressures are usually less than 0,1 MPa and consequently the non-linear propagation parameter is generally below 0,5 and it is not necessary to use a broadband hydrophone. Focal diameters may be less than 3 mm and, as seen from 5.1, a hydrophone with an active element of diameter 0,5 mm or smaller is required. For the higher frequency devices, it may be necessary to rotate the hydrophone when measurements are made at distances from the acoustic axis greater than the transducer radius (see 5.3). In the case of foetal monitors, the acoustic beam is often divergent and the peak acoustic pressure usually occurs at the face of the ultrasonic transducer. Under these circumstances, the usual plane progressive wave approximation for ultrasonic intensity is invalid (see 8.2 of IEC 1102). Hence, only acoustic pressure parameters can be specified unless a compromise is made. Such a compromise is to undertake measurements in a plane which does not contain the spatial-peak temporal-peak acoustic pressure in the whole acoustic field and at a distance such that the plane progressive wave approximation for intensity may be assumed. Although not strictly appropriate for a focused ultrasonic field, the criterion given in reference [1]* for a plane piston transducer may be used to estimate the difference between the true intensity and the intensity derived from the square of the acoustic pressure. A suitable compromise is to undertake measurements at a distance from the face of the ultrasonic transducer of between one and two ultrasonic transducer element diameters. For a plane piston transducer, this would yield errors of 4 % and < 2 % for these two cases.

* Figures in square brackets refer to the bibliography given in annex B.

Les hydrophones PVDF ou à sonde céramique (voir A.1.4 de la CEI 1102) constituent une solution satisfaisante pour les mesurages effectués sur des transducteurs Doppler à ondes entretenues. Les hydrophones à membrane peuvent être utilisés à condition de veiller à ce que la réflexion de la membrane n'interfère pas avec la sortie du transducteur ultrasonore (voir 5.5).

Certains types d'ensembles à effet Doppler à ondes entretenues utilisent des transducteurs ultrasonores dotés d'éléments actifs cylindriques et émettent les ultrasons de manière radiale. La CEI 1102, amendement 1, fournit les directives nécessaires aux mesurages pouvant être effectués sur ces ensembles à effet Doppler.

4.3 Transducteurs à usage thérapeutique

Les transducteurs ultrasonores utilisés en physiothérapie fonctionnent généralement à une fréquence comprise entre 0,75 MHz et 3 MHz sous l'excitation d'ondes entretenues ou d'impulsions sonores longues. Les transducteurs types sont dotés d'éléments actifs de 20 mm de diamètre et peuvent être équipés d'une lentille acoustique afin de permettre la focalisation. Les pressions acoustiques de crête sont inférieures à 0,5 MPa et aucune distorsion non linéaire significative de la forme d'onde de la pression acoustique n'intervient dans le champ proche du transducteur. Les mesurages peuvent être effectués dans n'importe quel plan, bien qu'il soit généralement prescrit de les mettre en œuvre dans le plan proche. Dans le cas des mesurages effectués à des distances inférieures à deux fois le diamètre du transducteur, il existe le même problème de conversion de la pression acoustique en intensité qu'avec les ensembles à effet Doppler à ondes entretenues. Une fois encore, il est recommandé d'effectuer les mesurages à des distances du transducteur supérieures ou égales à une fois le diamètre du transducteur. Etant donné que la pression acoustique crête spatiale crête temporelle survient dans la région de la dernière valeur maximale de la distribution de la pression axiale, les mesurages peuvent être effectués dans des plans situés aux distances suivantes de la face du transducteur ultrasonore:

- une fois le diamètre du transducteur;
- deux fois le diamètre du transducteur;
- distance correspondant au plan qui contient la pression acoustique crête spatiale crête temporelle.

Le dernier mesurage représente la pression acoustique crête spatiale crête temporelle dans la totalité du champ alors que les deux premiers se rapportent à une pression acoustique crête spatiale crête temporelle dans leurs plans respectifs. Ici, aussi si d'autres plans de mesurage sont utilisés, il est important de spécifier la position du plan de mesurage.

Comme l'indique le paragraphe 5.1, la taille de l'élément actif de l'hydrophone peut être supérieure à celle qui est utilisée pour les transducteurs ultrasonores à écho d'impulsion ou Doppler à ondes entretenues, dans la mesure où la longueur d'onde ultrasonore est généralement supérieure; un dispositif doté d'un élément actif de 0,5 mm à 1 mm de diamètre est généralement acceptable. Pour les dispositifs de ce type, la réponse directionnelle approximative de l'hydrophone dans cette gamme de fréquences signifie qu'il est peu probable que la maximisation de la réception du signal d'hydrophone par le biais de sa rotation soit nécessaire.