

NORME
INTERNATIONALE
INTERNATIONAL
STANDARD

CEI
IEC
61161

1992

AMENDEMENT 1
AMENDMENT 1

1998-01

Amendement 1

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

Amendment 1

**Ultrasonic power measurement in liquids
in the frequency range 0,5 MHz to 25 MHz**

© IEC 1998 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

International Electrotechnical Commission
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembeé Geneva, Switzerland
e-mail: inmail@iec.ch IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE

H

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

AVANT-PROPOS

Le présent amendement a été établi par le comité d'études 87 de la CEI: Ultrasons.

Le texte du présent amendement est basé sur les documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
87/113/FDIS	87/116/RVD

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

Page 2

SOMMAIRE

Ajouter le titre du nouveau paragraphe 7.1 suivant:

7.1 Incertitude de mesurage

Page 6

INTRODUCTION

Ajouter le texte suivant:

La présente norme énumère les sources d'erreurs et décrit une procédure pas à pas systématique nécessaire pour évaluer les incertitudes de mesurage globales.

Page 8

Domaine d'application

Ajouter, à la fin du premier alinéa, le troisième tiret suivant:

- fournit des informations concernant l'évaluation des incertitudes de mesurage globales.

Page 22

7 Incertitude de mesurage

Remplacer le texte existant de cet article par le nouveau texte suivant:

7.1 Evaluation des incertitudes de mesurage

En raison de la grande diversité des montages de mesurage utilisés, une analyse d'incertitude valable pour tous les montages possibles n'est pas possible immédiatement. C'est pourquoi une estimation de l'incertitude de mesurage globale ou une évaluation de précision doivent être déterminées de manière individuelle pour chaque montage utilisé. Il est recommandé que cette évaluation comprenne les éléments suivants.

FOREWORD

This amendment has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics.

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

FDIS	Report on voting
87/113/FDIS	87/116/RVD

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

Page 3

CONTENTS

Add the title of the new subclause 7.1 as follows:

7.1 Assessment of measurement uncertainties

Page 7

INTRODUCTION

Add the following text:

This standard enumerates the sources of errors and describes a systematic step-by-step procedure needed to assess overall measurement uncertainties.

Page 9

Scope

Add at the end of the first paragraph, the following third dash:

- provides information on assessment of overall measurement uncertainties.

Page 23

7 Measurement uncertainty

Replace the existing text of this clause by the following new text:

7.1 Assessment of measurement uncertainties

Due to the great variety of measurement arrangements used, an uncertainty analysis valid for all possible arrangements is not immediately possible. Therefore, an estimation of the overall measurement uncertainty or accuracy assessment shall be determined individually for each set-up used. This assessment should include the following elements.

7.1.1 Système d'équilibrage à suspension de cible

Il est de règle, avant tout mesurage, que le système d'équilibrage soit vérifié ou étalonné en utilisant des petits poids de masse connue. Il est important que cela soit fait avec l'ensemble du système préparé pour des mesurages de forces de radiation, c'est-à-dire avec la **cible** suspendue dans l'eau. Ainsi, toute influence possible du fil de suspension pénétrant la surface de l'eau est automatiquement prise en compte.

Cette procédure doit être répétée plusieurs fois avec chaque poids pour obtenir une indication de la diffusion aléatoire des résultats. Une estimation d'incertitude pour le facteur d'étalonnage d'équilibrage peut être déduite des résultats de l'étalonnage et de l'incertitude de masse des poids utilisés.

Il est recommandé d'archiver les résultats de ces vérifications pour permettre un jugement de la stabilité à long terme du facteur d'étalonnage d'équilibrage.

7.1.2 Linéarité du système d'équilibrage

La linéarité du système d'équilibrage doit être vérifiée au moins tous les deux mois comme suit.

Les mesurages décrits en 7.1.1 doivent être effectués avec au moins trois poids de masse différente dans la gamme de sortie d'équilibrage concernée. La lecture d'équilibrage en fonction de la masse d'entrée peut être représentée sur un graphique en conformité avec la figure 5. Idéalement, il convient que les points qui en résultent dans ce graphique soient sur une ligne droite commençant à l'origine des coordonnées. Si des déviations interviennent sur cette ligne, une contribution d'incertitude complémentaire doit en être déduite.

Etant donné que les poids de moins de 10 mg sont difficiles à manipuler, la vérification de linéarité d'équilibrage peut également être effectuée au moyen d'un **transducteur ultrasonore** à propriétés connues, activé par différents niveaux d'amplitude de tension et donc produisant des forces de radiation de magnitudes différentes. Dans ce cas, la grandeur d'entrée en abscisse de la figure 5 est la **puissance de sortie** ultrasonore du transducteur.

7.1.3 Extrapolation au moment de commutation du transducteur ultrasonore

Dans le cas d'un équilibrage électronique, pour obtenir la valeur de **force de radiation**, le signal de sortie d'équilibrage est en général enregistré en fonction du temps et extrapolé en revenant au moment de commutation du **transducteur ultrasonore**. Cette extrapolation entraîne une incertitude, qui dépend essentiellement de la quantité de diffusion dans le signal de sortie d'équilibrage (rapport signal à bruit). L'incertitude du résultat d'extrapolation peut être estimé au moyen de procédures mathématiques normalisées en utilisant l'algorithme de régression.

7.1.4 Imperfections de la cible

A proprement parler, une connaissance du moment porté par toutes les ondes indésirables émanant de la **cible** dans toutes les directions serait nécessaire pour évaluer l'influence des imperfections de **cible** sur la précision des mesurages d'équilibrage de la **force de radiation**. Comme cette connaissance n'est pas disponible, en pratique, une approche simplifiée en onde plane décrite ci-dessous est considérée comme suffisante. Avec l'hypothèse de l'onde plane, la **force acoustique de radiation** est égale à la densité d'énergie acoustique totale. L'onde transmise par une **cible** absorbante (voir figure 1) vers l'avant conduit à une réduction de la **force de radiation**, la réduction étant déterminée par la densité d'énergie transmise, c'est-à-dire par la densité d'énergie existant derrière la **cible**. La magnitude de cet effet peut être déterminée en utilisant la **cible** comme un obstacle et en effectuant un mesurage de **force de radiation** au moyen d'une **cible** complémentaire, positionnée immédiatement derrière l'originale. Il convient de noter que la réflexion de l'onde transmise à la surface de l'eau dans le montage représenté à la figure 1 doublera la baisse de la **force de radiation** mesurée.

7.1.1 Balance system including target suspension

As a rule, prior to the measurement, the balance system shall be checked or calibrated using small weights of known mass. It is important that this be done with the whole system prepared for radiation force measurements, i.e., with the **target** suspended in water. Thus, any potential influence of the suspension wire penetrating the water surface is automatically taken into account.

This procedure shall be repeated several times with each weight in order to obtain an indication of the random scatter of results. An uncertainty estimate for the balance calibration factor can be derived from the results of this calibration and from the mass uncertainty of the weights used.

The results of these checks should be filed in order to enable a judgment of the long-term stability of the balance calibration factor.

7.1.2 Linearity of the balance system

The linearity of the balance system shall be checked at least every two months as follows.

The measurements described in 7.1.1 shall be done with at least three weights of different masses within the balance output range of interest. The balance readout as a function of input mass can be represented in a graph in accordance with figure 5. The resulting points in this graph should ideally be on a straight line starting at the origin of the coordinates. If deviations from this line occur, an additional uncertainty contribution shall be derived from these.

Since weights of less than 10 mg are difficult to handle, the balance linearity check can also be done by means of an **ultrasonic transducer** with known properties, activated by various levels of voltage amplitude and thus producing radiation forces of various magnitudes. In this case the input quantity at the abscissa of figure 5 is the ultrasonic **output power** of the transducer.

7.1.3 Extrapolation to the moment of switching the ultrasonic transducer

In the case of an electronic balance, in order to obtain the **radiation force** value, the balance output signal is usually recorded as a function of time and extrapolated back to the moment of switching the **ultrasonic transducer**. This extrapolation involves an uncertainty, depending mainly on the amount of scatter in the balance output signal (signal-to-noise ratio). The uncertainty of the extrapolation result can be estimated by means of standard mathematical procedures in utilizing the regression algorithm.

7.1.4 Target imperfections

Strictly speaking, a knowledge of the momentum carried by all undesirable waves emanating from the **target** in all directions would be required to assess the influence of the **target** imperfections on the accuracy of the **radiation force** balance measurements. Since this knowledge is unavailable, in practice, a simplified plane-wave approach described below is considered to be sufficient. With the plane-wave assumption, the **acoustic radiation pressure** is equal to the total acoustic energy density. The wave transmitted by an absorbing **target** (see figure 1) in the forward direction leads to a reduction in the **radiation force**, the reduction being determined by the transmitted energy density, i.e., by the energy density existing behind the **target**. The magnitude of this effect can be determined by using the **target** as an obstacle and carrying out a **radiation force** measurement by means of an additional **target**, positioned immediately behind the original one. It should be noted that the reflection of the transmitted wave at the water surface in the arrangement shown in figure 1 will double the decrease in the measured **radiation force**.

L'onde réfléchi ou diffusée en retour par une **cible** absorbante conduit à une augmentation de la **force de radiation** qui est déterminée par la densité d'énergie réfléchi. Pour une **cible** absorbante plane, cet effet peut être évalué en comparant le signal impulsion-écho avec celui du réflecteur parfait. Cependant, pour une **cible** avec une structure de surface, ce mesurage ne détermine que le composant cohérent dans l'espace et n'indique pas l'énergie réfléchi totale. Dans ce cas, l'énergie réfléchi devrait être évaluée à l'aide d'un hydrophone (de type acoustiquement transparent, c'est-à-dire un hydrophone à membrane) et en intégrant le carré de la force mesurée sur le champ réfléchi (voir CEI 61101). L'autre alternative consisterait à utiliser d'autres informations concernant les propriétés de l'absorbeur pour donner une limite supérieure à la réflexion (par exemple la réflexivité d'une version plane équivalente). En plus de l'augmentation de la force de radiation mesurée, la réflexion émanant de la **cible** peut également avoir un effet en retour sur le **transducteur ultrasonore** pour modifier ses caractéristiques de sortie [10]. Cet effet d'interférences peut être minimisé en inclinant légèrement la **cible** ou en utilisant une meilleure **cible**. Si une interférence apparaît, cela donnera lieu à des oscillations dans la **force de radiation** qui peuvent être observées en faisant varier la fréquence ou la distance **cible/transducteur ultrasonore** [10]. L'incertitude due à tout effet d'interférence résiduelle peut être évaluée à partir des amplitudes d'oscillation.

Dans le cas de **cibles** réfléchissantes, la discussion précédente concernant l'onde transmise et son influence est également valable. Cependant, il n'est pas exclu que les ondes réfléchies viennent à la fois de la **cible** et de tout absorbeur latéral (voir figure 3) et c'est pourquoi il faut les considérer avec plus de soin.

En général, l'évaluation de précision la plus sûre sera obtenue en comparant les mesurages faits avec différents types de **cibles**. Les propriétés acoustiques des **cibles** varient de manière importante avec la fréquence et ainsi il faut faire toute évaluation d'incertitude séparément pour chaque fréquence concernée. Il est particulièrement difficile d'obtenir une bonne conception de **cible** pour des fréquences inférieures à 2 MHz.

7.1.5 Géométrie de la cible réfléchissante

Comme discuté à l'article A.2, l'angle de cône d'une **cible** réfléchissante conique a une influence sur le résultat de mesurage. De manière plus spécifique, si le demi-angle du cône d'un réflecteur de type convexe de 45° nominal se situe à $45^\circ \pm 1^\circ$, l'incertitude de puissance qui en résulte est de $\pm 3,5 \%$. Si le demi-angle du cône d'un réflecteur de type concave de 63° nominal (ce qui signifie que $\theta = 27^\circ$, suivant la notation donnée à l'article A.2) se situe à $63^\circ \pm 1^\circ$, l'incertitude de puissance qui en résulte est de $\pm 1,8 \%$.

7.1.6 Absorbeurs latéraux dans le cas de mesurages de la cible réfléchissante

Les imperfections des absorbeurs latéraux dans le montage de la figure 3 donnent lieu à des ondes réfléchies qui retournent vers la **cible** et conduisent à une augmentation de la valeur de la **force de radiation** mesurée. Ici encore, la densité d'énergie réfléchi est pertinente dans des conditions incohérentes et, une fois de plus, il n'est pas exclu que des effets d'interférence interviennent (voir 7.1.4).

7.1.7 Mauvais alignement de la cible

Le présent paragraphe s'applique si le **transducteur ultrasonore** et le dispositif de mesurage de force sont colinéaires mais que l'alignement angulaire de la **cible** est incorrect.

Tandis que la **force de radiation** sur une **cible** parfaitement absorbante selon la formule donnée à l'article A.2 n'est pas sensible à une inclinaison de **cible**, dans le cas d'une **cible** réfléchissante, le mesurage dépend de l'orientation correcte de la **cible**. Par exemple, une incertitude d'angle de $\pm 1^\circ$ pour un réflecteur plan à 45° conduit à une incertitude de mesurage de puissance de $\pm 3,5 \%$. L'influence d'un mauvais alignement dans le cas d'une **cible** réfléchissante conique ne peut pas être donnée par une formule universelle, mais sera,

The wave reflected or scattered back by an absorbing **target** leads to a **radiation force** increase that is determined by the reflected energy density. For a plane absorbing **target**, this effect can be assessed by comparing the pulse-echo signal with that from a perfect reflector. For a **target** with surface structure, however, this measurement determines only the spatially coherent component, and does not indicate the total reflected energy. In this case, the reflected energy would have to be assessed by scanning a hydrophone and integrating the square of the measured pressure over the reflected field (see IEC 61101). Alternatively, other information about the properties of the absorber could be used to give an upper limit to the reflection (e.g. the reflectivity of an equivalent, plane version). In addition to increasing the measured radiation force, the reflection from the **target** can also act back on the **ultrasonic transducer** to change its output characteristics [10]. This interference effect can be minimised by slightly tilting the **target** or by using a better **target**. If the interference occurs, it will give rise to oscillations in the **radiation force**, which can be observed by varying the frequency or the **target/ultrasonic transducer** distance [10]. The uncertainty due to any residual interference effects can be assessed from the oscillation amplitudes.

For the case of reflecting **targets**, the previous discussion of the transmitted wave and its influence is also valid. The reflected waves, however, may come both from the **target** and from any lateral absorbers (see figure 3) and so shall be considered more carefully.

Overall, the most reliable assessment of accuracy will be obtained by comparing measurements made with different **target** types. The acoustical properties of **targets** vary significantly with frequency and so any uncertainty assessment shall be made separately for each frequency of interest. It is particularly difficult to obtain a good **target** design for frequencies below 2 MHz.

7.1.5 Reflecting target geometry

As discussed in A.2 the cone angle of a conical reflecting **target** has an influence on the measurement result. More specifically, if the cone half-angle of a convex-type reflector of nominally 45° lies within $45^\circ \pm 1^\circ$, the resulting power uncertainty is $\pm 3,5\%$. If the cone half-angle of a concave-type reflector of nominally 63° (which means $\theta = 27^\circ$, following the notation given in A.2) lies within $63^\circ \pm 1^\circ$, the resulting power uncertainty is $\pm 1,8\%$.

7.1.6 Lateral absorbers in the case of reflecting target measurements

Imperfections of the lateral absorbers in the arrangement of figure 3 give rise to reflected waves which return to the **target** and lead to an increase in the value of the measured **radiation force**. Here again, the reflected energy density is relevant under incoherent conditions and again, interference effects may occur (see 7.1.4).

7.1.7 Target misalignment

This subclause applies if the **ultrasonic transducer** and the force-measuring device are collinear to each other but the angular alignment of the **target** is incorrect.

While the **radiation force** on a perfectly absorbing **target** according to the formula given in clause A.2 is insensitive to a **target** tilt, in the case of the reflecting **target**, the measurement depends on the correct **target** orientation. For example, an angle uncertainty of $\pm 1^\circ$ for a plane reflector at 45° leads to a power measurement uncertainty of $\pm 3,5\%$. The influence of a misalignment in the case of a conical reflecting **target** cannot be given by a universal formula,

en général, bien inférieure à celle d'une **cible** réfléchissante plane, en particulier lorsque la **cible** est centrée sur un faisceau. Pour un faisceau cylindrique symétrique centré par rapport à une **cible** réfléchissante conique à 45°, la sensibilité au mauvais alignement angulaire est encore plus réduite.

7.1.8 Mauvais alignement du transducteur ultrasonore

Le présent paragraphe s'applique si la **cible** et le dispositif de mesurage de force sont colinéaires mais que le **transducteur ultrasonore** a une orientation ou une position incorrectes.

Dans le cas d'une **cible** parfaitement absorbante d'une taille suffisante, la **force de radiation** apparente est proportionnelle au cosinus de l'angle de mauvais alignement. Dans le cas d'une **cible** réfléchissante conique convexe à 45°, une incertitude maximum due au mauvais alignement de $\pm 3\%$ peut être attendue si le positionnement maximum et les erreurs d'alignement angulaire de $\pm 3\text{ mm}$ et $\pm 3^\circ$ sont admises [32], ce qui paraît réaliste pour un alignement à l'oeil.

7.1.9 Température de l'eau

Compte tenu de la dépendance qui existe entre la température et la rapidité du son dans l'eau, une incertitude de mesurage de température de $\pm 1^\circ\text{C}$ entraînera une incertitude de mesurage de puissance de $\pm 0,2\%$.

7.1.10 Atténuation ultrasonore et courant acoustique

La valeur de puissance telle qu'elle est dérivée du mesurage d'équilibrage de la **force de radiation** fait référence à la position de la **cible** à une distance axiale donnée par rapport au **transducteur ultrasonore**. Cependant, la grandeur concernée est souvent la puissance émise par rapport à la surface du **transducteur ultrasonore**. L'incertitude complémentaire déduite dans ce cas est examinée ci-dessous.

Il y a deux modèles de base expliquant la différence entre les valeurs de puissance notées ci-dessus. Le premier examine l'influence de l'atténuation ultrasonore seule. Dans ce cas, la correction est faite en incluant le facteur de correction exponentiel (voir A.3.2). Le second inclut les effets du **courant acoustique** le long du chemin de propagation libre devant la **cible**. Pour une **cible** absorbante dans certaines conditions idéales, le théorème de Borgnis [33] stipule que les effets de l'atténuation et le **courant acoustique** s'annulent mutuellement et que par conséquent, aucune correction n'est nécessaire. Le comportement des **cibles** réelles (à la fois absorbantes et réfléchissantes) se situerait quelque part entre ces deux modèles de base [9]. C'est pourquoi il est recommandé d'examiner un éventail d'incertitudes qui va des valeurs de puissance non corrigées telles qu'elles sont mesurées par l'équilibrage à la valeur avec pleine correction d'atténuation [17]. La contribution d'incertitude dépend de la distance de la **cible** et est particulièrement critique lorsque les mesurages sont effectués dans la gamme de fréquences supérieures en mégahertz.

Une autre procédure consiste à mesurer la puissance apparente en fonction de la distance de la **cible** et à extrapoler le résultat en arrière vers la distance zéro au moyen d'un algorithme de régression basé sur une loi de distance linéaire ou exponentielle. Les valeurs mesurées ne s'adapteront pas exactement à la loi de distance utilisée, c'est-à-dire qu'il y aura une diffusion expérimentale et ainsi des procédures mathématiques normalisées peuvent être utilisées pour estimer l'incertitude des résultats d'extrapolation.

Dans le cas d'une surface **cible** non plane, il est difficile de définir la distance **cible** effective. Il est alors judicieux de rappeler que la hauteur moyenne d'un cône ou d'une pyramide est le tiers de la hauteur maximale lorsqu'elle est mesurée à partir de la base ou de deux tiers lorsqu'elle est mesurée du sommet. Cette règle peut être appliquée lorsque des **cibles** réfléchissantes de forme conique ou des **cibles** absorbantes avec des pointes de

but it will, in general, be much lower than that of a plane reflecting **target**, particularly when the **target** is centred over the beam. For a cylindrically symmetrical beam centred with respect to a 45° conical reflecting **target**, the sensitivity to angular misalignment is reduced still further.

7.1.8 Ultrasonic transducer misalignment

This subclause applies if the **target** and the force-measuring device are collinear to each other but the **ultrasonic transducer** has an incorrect orientation or position.

In case of a perfectly absorbing **target** of sufficient size, the apparent **radiation force** is proportional to the cosine of the misalignment angle. In case of a 45° convex conical reflecting **target**, a maximum uncertainty due to misalignment of $\pm 3\%$ can be expected if maximum positioning and angular alignment errors of $\pm 3\text{ mm}$ and $\pm 3^\circ$ are assumed [32], which appears to be realistic for an alignment by eye.

7.1.9 Water temperature

As a result of the temperature dependence of the velocity of sound in water, an uncertainty in the temperature measurement of $\pm 1^\circ\text{C}$ will result in a power measurement uncertainty of $\pm 0,2\%$.

7.1.10 Ultrasonic attenuation and acoustic streaming

The power value as derived from the **radiation force** balance measurement refers to the **target** position at a given axial distance from the **ultrasonic transducer**. The quantity of interest, however, is often the radiated power with reference to the **ultrasonic transducer** surface. The additional uncertainty inferred in this case is discussed below.

There are two basic models accounting for the difference between the above-noted power values. The first one considers the influence of ultrasonic attenuation alone. In this case, the correction is made by including the exponential correction factor (see A.3.2). The second one includes the effects of the **acoustic streaming** along the free propagation path in front of the **target**. For an absorbing **target** under certain ideal conditions, the Borgnis theorem [33] states that the effects of attenuation and **acoustic streaming** cancel each other, and consequently no correction is necessary. The behaviour of real **targets** (both absorbing and reflecting ones) has been found to lie somewhere in between these two basic models [9]. It is therefore recommended to consider an uncertainty span which ranges from the uncorrected power value as measured by the balance to the value with the full attenuation correction [17]. This uncertainty contribution depends on the **target** distance and is particularly critical when the measurements are performed in the higher megahertz frequency range.

An alternative way is to measure the apparent power as a function of the **target** distance and to extrapolate the result back to zero distance by means of a regression algorithm based on a linear or exponential distance law. The measured values will not exactly fit the assumed distance law, i.e., there will be some experimental scatter, and so standard mathematical procedures can be used to estimate the uncertainty of the extrapolation result.

In the case of a non-planar **target** surface, it is difficult to define the effective **target** distance. Here, it is helpful to recall that the average height of a cone or pyramid is $1/3$ of the peak height when measured from the base or $2/3$ when measured from the apex. This rule can be applied when conically shaped reflecting **targets** or absorbing **targets** with pyramid-like shaped

formes pyramidale sont utilisées. Pour un faisceau cylindrique uniforme de notion incident arrivant sur une **cible** conique convexe, la distance extra effective vers la **cible** (calculée à partir du sommet) est

$$2a / (3 \tan \beta)$$

où

a est le rayon du faisceau;

β est le demi-angle du cône.

7.1.11 Propriétés du feuillet

Si un feuillet de couplage ou un feuillet écran est utilisé pendant le mesurage de la **force de radiation**, la perte de transmission du feuillet telle qu'elle est mesurée ou estimée doit être prise en compte ainsi que tout effet possible de l'onde réfléchi sur le **transducteur ultrasonore**. L'incertitude introduite par ces effets doit être évaluée individuellement.

7.1.12 Taille de la cible finie

En 5.3, une formule pour la taille de **cible** minimale basée sur un critère de 2 % est indiquée. Si la largeur réelle de la **cible** est supérieure de plus de 50 % à la valeur déterminée en 5.3, il est raisonnable de prévoir une contribution d'incertitude de seulement 1 % ou même inférieure [6]. Cependant, il est recommandé de vérifier la dépendance de la **force de radiation** sur la distance de **cible**, conformément à 6.2, en tenant suffisamment compte de l'atténuation et du **courant acoustique** (voir 7.1.10).

7.1.13 Hypothèse d'une onde plane

Si le champ a une structure de champ divergente ou convergente, les formules onde plane de l'article A.2 ne sont plus strictement valables. Des estimations théoriques de la magnitude des erreurs due à la déviation par rapport à ces formules pour les champs focalisés ou les champs à faible valeur ka sont données en A.4.2 et à l'article A.5 (voir [20] et [21]).

7.1.14 Influences de l'environnement

Les incertitudes aléatoires causées par les vibrations de l'environnement et le flux d'air doivent être vérifiées en répétant les mesurages au moins trois fois. Si le **transducteur ultrasonore** est enlevé de l'appareil entre ces mesurages, une vérification de l'incertitude aléatoire causée par le mauvais alignement du **transducteur ultrasonore** est incluse.

7.1.15 Mesurage de la tension d'excitation

En général, l'incertitude dans le mesurage de la tension d'excitation appliquée au **transducteur ultrasonore** n'est pas pertinente pour le mesurage de la **puissance de sortie**. Cependant, si les mesurages de **puissance de sortie** du même **transducteur ultrasonore** sont effectués dans des laboratoires indépendants (par exemple pour des raisons de comparaison), les différences possibles dans l'amplitude de tension d'excitation doivent être prises en compte. Comme la **puissance de sortie** est proportionnelle au carré de la tension appliquée, l'incertitude de tension déterminée doit être doublée quand elle est incluse dans le chiffre d'incertitude globale.

7.1.16 Température du transducteur ultrasonore

La variation de la **puissance de sortie** avec la température du **transducteur ultrasonore** peut être importante lorsqu'on compare les mesurages faits à différents moments ou à différents endroits. Parfois, cette variation peut être très importante (par exemple 5 % par °C), en particulier avec les **transducteurs ultrasonores** à couches multiples, adaptés à l'impédance. Il n'est pas exclu que la variation de température soit causée par des modifications d'environnement ou par la dissipation de la chaleur à l'intérieur du **transducteur ultrasonore**.

wedges are used. For a notionally uniform cylindrical beam incident on a convex conical **target**, the extra effective distance to the **target** (reckoned from the apex) is

$$2a / (3 \tan \beta)$$

where

a is the radius of the beam;

β is the half-angle of the cone.

7.1.11 Foil properties

If a coupling foil or a shielding foil is used during the **radiation force** measurements, the foil transmission loss as measured or estimated shall be taken into account, as well as any possible effect of the reflected wave on the **ultrasonic transducer**. The uncertainty introduced by these effects shall be assessed individually.

7.1.12 Finite target size

In 5.3, a formula for the minimum **target** size based on a 2 % criterion is stated. If the actual **target** width is more than 50 % larger than the value determined by 5.3, it is reasonable to assume an uncertainty contribution of only 1 % or even lower [6]. However, it is recommended to check the dependence of the **radiation force** on the **target** distance, according to 6.2, making due allowance for attenuation and **acoustic streaming** (see 7.1.10).

7.1.13 Plane-wave assumption

If the field has a divergent or convergent field structure, the plane-wave formulae of clause A.2 are no longer strictly valid. Theoretical estimations of the magnitude of the errors due to the deviation from these formulae for focused fields or fields with low ka values are given in A.4.2 and clause A.5 (see [20] and [21]).

7.1.14 Environmental influences

The random uncertainties caused by environmental vibrations and air flow shall be checked by repeating the measurements at least three times. If the **ultrasonic transducer** is removed from the apparatus between these measurements, a check of the random uncertainty caused by **ultrasonic transducer** misalignment is included.

7.1.15 Excitation voltage measurement

In general, the uncertainty in the measurement of the excitation voltage applied to the **ultrasonic transducer** is irrelevant for the **output power** measurement. However, if **output power** measurements of the same **ultrasonic transducer** are carried out at independent laboratories (e.g. for intercomparison purposes), the possible differences in the excitation voltage amplitude shall be taken into account. As the **output power** is proportional to the square of the applied voltage, the voltage uncertainty determined shall be doubled when it is included in the overall uncertainty figure.

7.1.16 Ultrasonic transducer temperature

The variation of the **output power** with the **ultrasonic transducer** temperature can be important when comparing measurements made at different times or in different places. Sometimes, this variation can be very significant (e.g. 5 % per °C), particularly with multilayered, impedance-matched **ultrasonic transducers**. The temperature variation may be caused by environmental changes or by heat dissipation within the **ultrasonic transducer**.

Il n'est pas exclu qu'une augmentation de la température du transducteur produise également des courants de convection thermiques de nature à affecter la lecture de l'équilibrage.

Ces effets peuvent être évalués en observant la **force de radiation** en fonction du temps après mise sous tension du **transducteur ultrasonore**.

7.1.17 Non-linéarité

L'influence potentielle des non-linéarités doit être examinée en considérant les points suivants.

- a) La linéarité du système d'équilibrage incluant la suspension de **cible** peut être vérifiée par étalonnage au moyen de poids en fonction de leur valeur de masse ou par des mesurages avec un **transducteur ultrasonore** à propriétés connues (7.1.2) et avec la **cible** à moins de 10 mm du **transducteur ultrasonore**.
- b) Selon 6.3 et 6.4, le dégazage de l'eau et l'absence de toute bulle sont nécessaires. S'il y a des bulles d'air ou des activités de cavitation dans le champ d'ultrasons, il n'est pas exclu que le mesurage de puissance soit très incorrect. Aucune estimation générale ne peut être donnée pour ces sources d'erreur.
- c) Il n'est pas exclu que l'atténuation acoustique et le **courant acoustique** entraînent des non-linéarités. Si la distance **cible/transducteur ultrasonore** ou la distance la plus courte de **cible** dans une expérimentation de variation de distance est inférieure à 10 mm, il est suffisant de suivre 7.1.10. Si la distance **cible/transducteur ultrasonore** ou la distance la plus courte de **cible** dans une expérimentation de variation de distance est supérieure ou égale à 10 mm, des incertitudes complémentaires dues à la non-linéarité sont susceptibles d'apparaître, mais aucune estimation générale ne peut être donnée ici.

Il n'est pas exclu que cet effet puisse être vérifié avec un **transducteur ultrasonore** de référence de **puissance de sortie** connue. Il convient de noter cependant qu'il n'est pas exclu que les non-linéarités de l'atténuation ultrasonique et du **courant acoustique** dépendent d'une forme d'onde temporelle et de la valeur de crête de la pression et que les résultats d'essai obtenus avec un **transducteur ultrasonore** de référence avec une forme d'onde différente de celle du **transducteur ultrasonore** à mesurer ne sont donc pas entièrement concluants.

- d) Outre les effets traités aux points a), b) et c) ci-dessus les relations de **force de radiation** théoriques elles-mêmes peuvent être non linéaires et différer des formules de deuxième ordre données aux articles A.2 et A.5, là où les relations linéaires entre puissance et force sont indiquées. Cependant, dans la gamme de **puissance de sortie** produite par les équipements à ultrasons actuels de diagnostic et de thérapie, et tant qu'aucune information contraire n'a été obtenue, il convient de considérer la **force de radiation** acoustique comme un phénomène essentiellement linéaire par rapport à la **puissance de sortie**. Il convient de considérer comme négligeables les déviations non linéaires des formules données aux articles A.2 et A.5 comparées aux autres contributions d'incertitudes [34].

7.1.18 Remarques finales

Il est recommandé de vérifier périodiquement si l'incertitude globale telle qu'elle est déterminée en utilisant les directives ci-dessus n'est pas influencée par toute autre source d'erreur aléatoire. Cela peut être fait facilement en démontant le circuit de mesurage, en le remontant et en répétant le mesurage au moins trois fois.

Lorsqu'il y a conformité avec les prescriptions des articles 5 et 6, une précision de mesurage globale de $\pm 10\%$ semble réalisable [15] dans la gamme de fréquence de 1 MHz à 10 MHz, avec $\pm 20\%$ hors de cette gamme de fréquence et jusqu'à 20 MHz et avec $\pm 30\%$ au-dessus de 20 MHz. Des analyses d'erreurs pour les systèmes spécifiques ont été données en [17] et [18]. Là où des **transducteurs ultrasonores** de référence calibrés sont disponibles, des mesurages d'essai les utilisant sont fortement recommandés [16].

An increase in the transducer temperature may also produce thermal convection currents which may affect the balance reading.

These effects can be assessed by observing the **radiation force** as a function of time after energizing the **ultrasonic transducer**.

7.1.17 Nonlinearity

The potential influence of nonlinearities shall be considered with respect to the following.

- a) The linearity of the balance system including the **target** suspension can be checked by calibration by means of weights as a function of their mass value or by measurements with an **ultrasonic transducer** with known properties (7.1.2) and with the **target** closer than 10 mm to the **ultrasonic transducer**.
- b) According to 6.3 and 6.4, water degassing and the absence of any bubbles are necessary. If there are air bubbles or cavitation activities in the ultrasonic field, the power measurement may be grossly incorrect. No general estimates can be given for these sources of error.
- c) Ultrasonic attenuation and **acoustic streaming** may involve nonlinearities. If the **target/ultrasonic transducer** distance or the smallest **target** distance in a distance variation experiment is less than 10 mm, it is sufficient to follow 7.1.10. If the **target/ultrasonic transducer** distance or the smallest **target** distance in a distance variation experiment is 10 mm or higher, additional uncertainties due to nonlinearity are likely to occur, but no general estimate can be given here.

It may appear that this effect can be checked with a reference **ultrasonic transducer** of known **output power**. It should be noted, however, that nonlinearities in ultrasonic attenuation and **acoustic streaming** may depend on the temporal waveform and on the peak pressure value, and that test results obtained with a reference **ultrasonic transducer** with a waveform different from that of the **ultrasonic transducer** to be measured are not therefore fully conclusive.

- d) Apart from the effects dealt with in items a), b) and c) above, the theoretical **radiation force** relations themselves might be nonlinear and differ from the second-order formulas given in clauses A.2 and A.5, where linear relationships between power and force are stated. However, in the **output power** range produced by current diagnostic and therapeutic ultrasonic equipment, and as long as no information to the contrary has been obtained, the **acoustic radiation force** should be regarded as a chiefly linear phenomenon with respect to the **output power**. Nonlinear deviations from the formulae given in clauses A.2 and A.5 should be considered as negligible in comparison with the other uncertainty contributions [34].

7.1.18 Concluding remarks

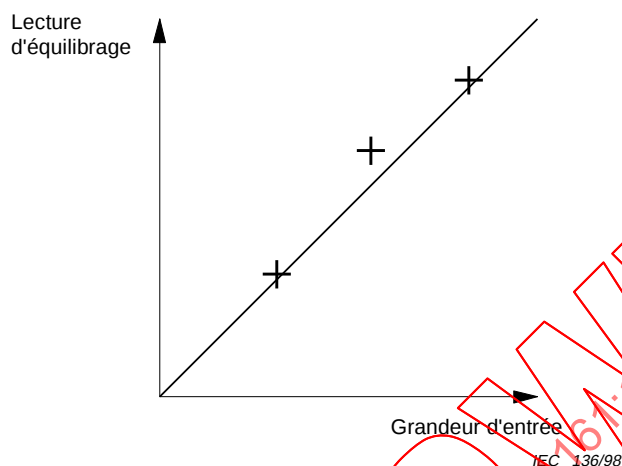
It is recommended to check periodically whether the overall uncertainty as determined using the above guidelines is not influenced by any other random error sources. This can be readily done by disassembling the measurement arrangement, reassembling it again and repeating the measurement at least three times.

When the requirements of clauses 5 and 6 are complied with, an overall measurement accuracy of $\pm 10\%$ seems to be achievable [15] in the frequency range from 1 MHz to 10 MHz, one of $\pm 20\%$ outside this frequency range and up to 20 MHz, and one of $\pm 30\%$ above 20 MHz. Error analyses for specific systems have been given in [17] and [18]. Also, where calibrated reference **ultrasonic transducers** are available, test measurements with these are highly recommended [16].

Page 24

Figures

Ajouter la nouvelle figure suivante:



NOTE – Si la vérification de linéarité est effectuée en appliquant des petits poids de masse connue, la grandeur d'entrée est la masse des poids utilisés. Si la vérification de linéarité est effectuée en appliquant la **force de radiation** du champ ultrasonore émis par un **transducteur ultrasonore** de propriétés connues, la grandeur d'entrée est la **puissance de sortie** ultrasonore du transducteur.

Figure 5 – Vérification de la linéarité: lecture d'équilibrage en fonction de la grandeur d'entrée

Page 32

Annexe C – Bibliographie

Ajouter les trois nouvelles références suivantes:

- [32] Marr, P.G., *The effect of transducer positioning errors on power readings using a conical radiation force balance target*. Report of the Bureau of Radiation and Medical Devices, Ottawa (1988).
- [33] Borgnis, F.E., *On the forces due to acoustic wave motion in a viscous medium and their use in the measurement of acoustic intensity*. J. Acoust. Soc. Am. 25, pp. 546 - 548 (1953).
- [34] Beissner, K., and Makarov, S.N., *Acoustic energy quantities and radiation force in higher approximation*. J. Acoust. Soc. Am. 97, pp. 898 - 905 (1995).