

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC  
60565**

Première édition  
First edition  
1977-01

---

---

**Etalonnage des hydrophones**

**Calibration of hydrophones**

© IEC 1977 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

e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
IEC web site <http://www.iec.ch>



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**X**

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

## SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE . . . . .	6
PRÉFACE . . . . .	6
LISTE DES SYMBOLES . . . . .	8
Articles . . . . .	12
1. Domaine d'application . . . . .	12
2. Objet . . . . .	12
3. Définitions . . . . .	12
3.1 Champ libre . . . . .	12
3.2 Champ lointain . . . . .	12
3.3 Centre acoustique . . . . .	12
3.4 Hydrophone . . . . .	14
3.5 Projecteur acoustique sous-marin . . . . .	14
3.6 Transducteur réversible . . . . .	14
3.7 Transducteur réciproque . . . . .	14
3.8 Tension en circuit ouvert d'un hydrophone . . . . .	14
3.9 Sensibilité en champ libre d'un hydrophone . . . . .	16
3.10 Sensibilité en pression d'un hydrophone . . . . .	16
3.11 Réponse à l'émission en courant d'un projecteur . . . . .	16
3.12 Bornes électriques d'un transducteur réciproque . . . . .	16
3.13 Impédance électrique d'un transducteur . . . . .	16
3.14 Module de l'impédance électrique de transfert d'un couple de transducteurs . . . . .	18
3.15 Pistophone . . . . .	18
3.16 Colonne vibrante . . . . .	18
3.17 Pression de bruit équivalente . . . . .	18
3.18 Dynamique . . . . .	18
3.19 Réponse directive . . . . .	18
3.20 Axe principal . . . . .	20
3.21 Directivité isotrope . . . . .	20
3.22 Familles de transducteurs directifs . . . . .	20
3.23 Système de coordonnées . . . . .	20
4. Procédés d'étalonnage . . . . .	20
4.1 Principes . . . . .	22
4.2 Limites de champ . . . . .	22
4.3 Choix schématique des procédés . . . . .	22
5. Préparation des transducteurs . . . . .	22
5.1 Mouillage . . . . .	22
5.2 Support de l'hydrophone . . . . .	24
5.3 Influence du câble . . . . .	24
6. Mesures électriques . . . . .	24
6.1 Forme du signal . . . . .	24
6.2 Mise à la masse . . . . .	24
6.3 Mesure de la tension de sortie de l'hydrophone . . . . .	26
6.4 Mesure du courant traversant le projecteur . . . . .	28
6.5 Mesure du module de l'impédance de transfert . . . . .	30
7. Etalonnage en champ libre par réciprocité . . . . .	30
7.1 Domaine d'application . . . . .	30
7.2 Objet . . . . .	30
7.3 Principe général . . . . .	34
7.4 Théorie . . . . .	34
7.5 Distance entre émetteur et récepteur . . . . .	36
7.6 Distance minimale entre transducteurs et surfaces limites . . . . .	36
7.7 Forme du signal . . . . .	38
7.8 Limites en fréquence . . . . .	38
7.9 Mesures . . . . .	38

## CONTENTS

	Page
FOREWORD . . . . .	7
PREFACE . . . . .	7
LIST OF SYMBOLS . . . . .	9
Clause	
1. Scope . . . . .	13
2. Purposes . . . . .	13
3. Definitions . . . . .	13
3.1 Free field . . . . .	13
3.2 Far field . . . . .	13
3.3 Acoustic centre . . . . .	13
3.4 Hydrophone . . . . .	13
3.5 Underwater sound projector . . . . .	15
3.6 Reversible transducer . . . . .	15
3.7 Reciprocal transducer . . . . .	15
3.8 Open-circuit voltage at hydrophone . . . . .	15
3.9 Free-field sensitivity of a hydrophone . . . . .	15
3.10 Pressure sensitivity of a hydrophone . . . . .	15
3.11 Transmitting response to current of a projector . . . . .	17
3.12 Electrical terminals of a reciprocal transducer . . . . .	17
3.13 Electrical impedance of a transducer . . . . .	17
3.14 Electrical transfer impedance magnitude of a transducer pair . . . . .	17
3.15 Pistonphone . . . . .	19
3.16 Vibrating column . . . . .	19
3.17 Equivalent noise pressure . . . . .	19
3.18 Dynamic range . . . . .	19
3.19 Directional response . . . . .	19
3.20 Principal axis . . . . .	19
3.21 Omnidirectionality . . . . .	19
3.22 Types of directional transducers . . . . .	21
3.23 Co-ordinate system . . . . .	21
4. Procedures for calibration . . . . .	21
4.1 Principles . . . . .	21
4.2 Field limitations . . . . .	23
4.3 Schematic survey of procedures . . . . .	23
5. Preparation of the transducers . . . . .	23
5.1 Wetting . . . . .	23
5.2 Hydrophone support . . . . .	23
5.3 Influence of the cable . . . . .	25
6. Electrical measurements . . . . .	25
6.1 Signal type . . . . .	25
6.2 Earthing . . . . .	25
6.3 Measurement of hydrophone output voltage . . . . .	25
6.4 Measurement of projector current . . . . .	27
6.5 Measurement of transfer impedance magnitude . . . . .	29
7. Free-field reciprocity calibration . . . . .	31
7.1 Scope . . . . .	31
7.2 Object . . . . .	31
7.3 General principle . . . . .	31
7.4 Theory . . . . .	31
7.5 Separation distance . . . . .	35
7.6 Minimum distance from transducers to boundary surfaces . . . . .	35
7.7 Signal type . . . . .	37
7.8 Frequency limitations . . . . .	37
7.9 Measurements . . . . .	39

Articles	Pages
8. Etalonnage en champ libre par comparaison . . . . .	42
8.1 Domaine d'application . . . . .	42
8.2 Objet . . . . .	42
8.3 Principe . . . . .	42
8.4 Comparaison avec un hydrophone étalon . . . . .	44
8.5 Etalonnage à l'aide d'un projecteur étalonné . . . . .	46
9. Compensation dans une chambre fermée . . . . .	48
9.1 Domaine d'application . . . . .	48
9.2 Objet . . . . .	48
9.3 Introduction . . . . .	48
9.4 Etalonnage selon la compensation électrodynamique . . . . .	48
9.5 Etalonnage selon la compensation piézo-électrique . . . . .	52
9.6 Réalisation de la chambre de compensation électrodynamique . . . . .	56
9.7 Réalisation de la chambre de compensation piézo-électrique . . . . .	58
9.8 Limites pratiques de la méthode de compensation électrodynamique . . . . .	60
9.9 Limites pratiques de la méthode de compensation piézo-électrique . . . . .	60
10. Etalonnage avec un pistonphone, entre 1 Hz et 50 Hz (à l'étude) . . . . .	62
11. Etalonnage avec une colonne vibrante, entre 10 Hz et 3 kHz (à l'étude) . . . . .	62
ANNEXE A — Mesure du module de l'impédance de transfert par la méthode de substitution . . . . .	64
ANNEXE B — Mesure du module de l'impédance de transfert par la méthode de lecture directe . . . . .	70
ANNEXE C — Emploi de la technique par impulsions dans l'étalonnage en champ libre . . . . .	78
ANNEXE D — Réponse directive d'un hydrophone . . . . .	84
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	88

Clause	Page
8. Free-field calibration by comparison . . . . .	43
8.1 Scope . . . . .	43
8.2 Object . . . . .	43
8.3 Principle . . . . .	43
8.4 Comparison with a standard hydrophone . . . . .	45
8.5 Calibration with a calibrated projector . . . . .	47
9. Compensation in a closed chamber . . . . .	49
9.1 Scope . . . . .	49
9.2 Object . . . . .	49
9.3 Introduction . . . . .	49
9.4 Calibration by electrodynamic compensation . . . . .	49
9.5 Calibration by piezoelectric compensation . . . . .	53
9.6 Design of the electrodynamic compensation chamber . . . . .	57
9.7 Design of the piezoelectric compensation chamber . . . . .	59
9.8 Practical limitations of the electrodynamic compensation method . . . . .	61
9.9 Practical limitations of the piezoelectric compensation method . . . . .	61
10. Calibration with a pistonphone, between 1 Hz and 50 Hz (under consideration) . . . . .	63
11. Calibration with a vibrating column, between 10 Hz and 3 kHz (under consideration) . . . . .	63
APPENDIX A — Measurement of transfer impedance magnitude by the substitution method . . . . .	65
APPENDIX B — Measurement of the transfer impedance magnitude by the direct read-out method . . . . .	71
APPENDIX C — Pulse technique in free-field calibration . . . . .	79
APPENDIX D — Directional response of a hydrophone . . . . .	85
BIBLIOGRAPHY . . . . .	88



## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

# ÉTALONNAGE DES HYDROPHONES

### 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

La présente norme a été établie par le Sous-Comité 29D: Ultrasons, du Comité d'Etudes N° 29: Electroacoustique.

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Vedbaek en 1968, à Stresa en 1969, à Londres en 1971, à Oslo en 1972 et à Moscou en 1974. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 29D(Bureau Central)8, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1975.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication :

Allemagne	Pays-Bas
Australie	Pologne
Autriche	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Chine	Suède
Danemark	Suisse
Etats-Unis d'Amérique	Turquie
France	Union des Républiques Socialistes Soviétiques
Israël	
Japon	

*Autres publications de la CEI citées dans la présente norme:*

- Publications n° 27: Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique.  
50(08): Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), chapitre 08: Electroacoustique.  
263: Echelles et dimensions des graphiques pour le tracé des courbes de réponse en fréquence et des diagrammes polaires.  
486: Méthode de précision pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité.  
500: Hydrophone étalon CEI.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**CALIBRATION OF HYDROPHONES**

FOREWORD

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

PREFACE

This standard has been prepared by Sub-Committee 29D, Ultrasonics, of IEC Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

Drafts were discussed at the meetings held in Vedbaek in 1968, in Stresa in 1969, in London in 1971, in Oslo in 1972 and in Moscow in 1974. As a result of the latter meeting, a draft, Document 29D(Central Office)8, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1975.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Poland
Austria	Romania
Belgium	Sweden
China	Switzerland
Denmark	Turkey
France	Union of Soviet Socialist Republics
Germany	United Kingdom
Israel	United States of America
Japan	
Netherlands	

*Other IEC publications quoted in this standard:*

- Publications Nos. 27: Letter Symbols to be Used in Electrical Technology.  
50(08): International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), Chapter 08, Electro-acoustics.  
263: Scales and Sizes for Plotting Frequency Characteristics and Polar Diagrams.  
486: Precision Method for Free-field Calibration of One-inch Standard Condenser Microphones by the Reciprocity Technique.  
500: IEC Standard Hydrophone.

## LISTE DES SYMBOLES

$A$	Surface sensible réelle du transducteur
$a$	Dimension linéaire du transducteur
$B$	Densité de flux du champ magnétique à travers la bobine du transducteur
$C$	Capacité
$C_c$	Complaisance acoustique des parois de la chambre
$C_{mt}$	Complaisance mécanique de la chambre
$C_t$	Complaisance acoustique de la chambre
$C_w$	Complaisance acoustique du volume d'eau dans la chambre
$c$	Vitesse du son dans l'eau
$D$	Diamètre moyen de la coque cylindrique
$D_i$	Indice de directivité
$d$	Distance entre projecteur et hydrophone
$d_{31}$	Module piézo-électrique
$E$	Module de Young
$f$	Fréquence
$g$	Accélération de la pesanteur
$H$	Facteur de correction de dimension dans l'équation (A9)
$h$	Hauteur de la colonne d'eau
$I$	Courant
$I_P$	Courant à travers le projecteur
$I_T$	Courant à travers le transducteur
$I_c$	Courant de compensation à travers le projecteur d'équilibre
$K$	Atténuation de l'atténuateur étalonné
$L$	Longueur de la cuve ou de la chambre
$l$	Longueur du conducteur de la bobine du transducteur
$M_f$	Sensibilité en champ libre
$M_H$	Sensibilité en champ libre de l'hydrophone
$M_T$	Sensibilité en champ libre du transducteur
$M_p$	Sensibilité en pression
$M_o$	Constantes de sensibilité (annexe B)
$m$	Masse d'eau à l'intérieur de la chambre
$p$	Pression acoustique
$R$	Résistance
$R_c$	Résistance de mesure du courant
$R_i$	Résistance de tension insérée
$R_\theta$	Facteur de directivité
$r$	Rayon de l'enveloppe du transducteur
$dS$	Élément différentiel de surface sur une sphère
$S$	Réponse à l'émission en courant
$S_P$	Réponse à l'émission en courant d'un projecteur
$S_T$	Réponse à l'émission en courant d'un transducteur
$t$	Épaisseur d'une coque cylindrique
$U$	Tension
$U_c$	Tension de compensation au projecteur d'équilibre
$U_H$	Tension en circuit ouvert d'un hydrophone
$U_P$	Tension d'alimentation de projecteur
$U_R$	Tension aux bornes d'une résistance
$U_T$	Tension d'alimentation de transducteur



## LIST OF SYMBOLS

$A$	Effective sensitive area of transducer
$a$	Linear dimension of transducer
$B$	Flux density of magnetic field through transducer coil
$C$	Capacitance
$C_c$	Acoustic compliance of chamber walls
$C_{mt}$	Mechanical compliance of chamber
$C_t$	Acoustical compliance of chamber
$C_w$	Acoustical compliance of water volume in chamber
$c$	Speed of sound in water
$D$	Mean diameter of cylindrical shell
$D_i$	Directivity index
$d$	Distance between projector and hydrophone
$d_{31}$	Piezoelectric modulus
$E$	Young's modulus
$f$	Frequency
$g$	Gravitational constant
$H$	Dimensional correction factor in equation (A9)
$h$	Height of water column
$I$	Current
$I_P$	Current through projector
$I_T$	Current through transducer
$I_c$	Compensation current through null projector
$K$	Attenuation of calibrated attenuator
$L$	Length of tank or chamber
$l$	Conductor length of transducer coil
$M_f$	Free field sensitivity
$M_H$	Free field sensitivity of hydrophone
$M_T$	Free field sensitivity of transducer
$M_p$	Pressure sensitivity
$M_o$	Sensitivity constants (Appendix B)
$m$	Mass of water inside chamber
$p$	Sound pressure
$R$	Resistance
$R_c$	Current measuring resistance
$R_i$	Insert voltage resistance
$R_\theta$	Directivity factor
$r$	Radius of transducer shell
$dS$	Differential area on a sphere
$S$	Transmitting response to current
$S_P$	Transmitting response to current of a projector
$S_T$	Transmitting response to current of a transducer
$t$	Thickness of cylindrical shell
$U$	Voltage
$U_c$	Compensating voltage at null projector
$U_H$	Open circuit voltage at hydrophone
$U_P$	Transmitting voltage at projector
$U_R$	Voltage across resistor
$U_T$	Transmitting voltage at transducer

$U_{PH}$	Tension en circuit ouvert d'un hydrophone, à partir d'un projecteur de source sonore
$U_{TH}$	Tension en circuit ouvert d'un hydrophone, à partir d'un transducteur de source sonore
$U_{PT}$	Tension en circuit ouvert d'un transducteur, à partir d'un projecteur de source sonore
$V$	Volume d'eau
$x$	Déplacement du transducteur d'équilibre, amplitude de vibration
$Y$	Facteur de transmission d'atténuateur
$Z$	Impédance
$Z_{RC}$	Impédance de circuit R-C
$Z_{PH}$	Impédance de transfert d'un projecteur et d'un hydrophone
$Z_{TH}$	Impédance de transfert d'un transducteur et d'un hydrophone
$Z_{PT}$	Impédance de transfert d'un transducteur et d'un projecteur
$\gamma$	Gain d'un amplificateur
$\theta$	Angle vertical
$\lambda$	Longueur d'onde du son dans l'eau
$\rho$	Masse volumique de l'eau
$\sigma$	Coefficient de Poisson
$\varphi$	Angle d'azimut
$\kappa$	Rapport des chaleurs spécifiques

---

$U_{PH}$	Open circuit voltage at hydrophone, from a projector as sound source
$U_{TH}$	Open circuit voltage at hydrophone, from a transducer as sound source
$U_{PT}$	Open circuit voltage at transducer, from a projector as sound source
$V$	Water volume
$x$	Displacement of null transducer, vibration amplitude
$Y$	Transmission factor of attenuator
$Z$	Impedance
$Z_{RC}$	Impedance of R-C circuit
$Z_{PH}$	Transfer impedance of projector and hydrophone
$Z_{TH}$	Transfer impedance of transducer and hydrophone
$Z_{PT}$	Transfer impedance of transducer and projector
$\gamma$	Gain of amplifier
$\theta$	Vertical angle
$\lambda$	Wavelength of sound in water
$\rho$	Density of water
$\sigma$	Poisson's modulus
$\varphi$	Azimuth angle
$\kappa$	Ratio of specific heats

---

## ÉTALONNAGE DES HYDROPHONES

---

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

La présente norme spécifie les méthodes de mesure de la sensibilité d'un hydrophone, en particulier dans la bande de fréquences 1 Hz à 1 MHz. Elle établit les règles de présentation des résultats d'étalonnage.

## CALIBRATION OF HYDROPHONES

---

### 1. Scope

This standard specifies methods for the measurement of the sensitivity of hydrophones, particularly in the frequency range from 1 Hz to 1 MHz, and establishes rules for the presentation of the calibration data.