

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 486

Première édition — First edition

1974

**Méthode de précision pour l'étalonnage en champ libre des microphones
étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité**

**Precision method for free-field calibration of one-inch standard
condenser microphones by the reciprocity technique**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe
Genève, Suisse

Révision de la présente publication

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

Les renseignements relatifs à ce travail de révision, à l'établissement des éditions révisées et aux mises à jour peuvent être obtenus auprès des Comités nationaux de la CEI et en consultant les documents ci-dessous:

- **Bulletin de la CEI**
Publié trimestriellement
- **Rapport d'activité de la CEI**
Publié annuellement
- **Catalogue des publications de la CEI**
Publié annuellement

Terminologie utilisée dans la présente publication

Seuls sont définis ici les termes spéciaux se rapportant à la présente publication.

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la Publication 50 de la CEI: Vocabulaire Electrotechnique International (V.E.I.), qui est établie sous forme de chapitres séparés traitant chacun d'un sujet défini, l'index général étant publié séparément. Des détails complets sur le V.E.I. peuvent être obtenus sur demande.

Symboles graphiques et littéraux

Seuls les symboles graphiques et littéraux spéciaux sont inclus dans la présente publication.

Le recueil complet des symboles graphiques approuvés par la CEI fait l'objet de la Publication 117 de la CEI.

Les symboles littéraux et autres signes approuvés par la CEI font l'objet de la Publication 27 de la CEI.

Autres publications de la CEI établies par le même Comité d'Etudes

L'attention du lecteur est attirée sur la page 3 de la couverture, qui énumère les autres publications de la CEI préparées par le Comité d'Etudes qui a établi la présente publication.

Revision 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 on the work of revision, the issue of revised editions and amendment sheets may be obtained from IEC National Committees and from the following IEC sources:

- **IEC Bulletin**
Published quarterly
- **Report on IEC Activities**
Published yearly
- **Catalogue of IEC Publications**
Published yearly

Terminology used in this publication

Only special terms required for the purpose of this publication are defined herein.

For general terminology, readers are referred to IEC Publication 50: International Electrotechnical Vocabulary (I.E.V.), which is issued in the form of separate chapters each dealing with a specific field, the General Index being published as a separate booklet. Full details of the I.E.V. will be supplied on request.

Graphical and letter symbols

Only special graphical and letter symbols are included in this publication.

The complete series of graphical symbols approved by the IEC is given in IEC Publication 117.

Letter symbols and other signs approved by the IEC are contained in IEC Publication 27.

Other IEC publications prepared by the same Technical Committee

The attention of readers is drawn to the inside of the back cover, which lists other IEC publications issued by the Technical Committee which has prepared the present publication.

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 486

Première édition — First edition

1974

**Méthode de précision pour l'étalonnage en champ libre des microphones
étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité**

**Precision method for free-field calibration of one-inch standard
condenser microphones by the reciprocity technique**



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

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles	
1. Domaine d'application	6
2. Objet	6
3. Explication des termes	6
3.1 Tension à circuit ouvert	6
3.2 Efficacité en champ libre d'un microphone	6
3.3 Impédance électrique d'un microphone	8
3.4 Impédance acoustique d'un microphone	8
3.5 Centre acoustique d'un microphone	8
3.6 Axe principal d'un microphone	8
3.7 Conditions de champ libre	8
3.8 Microphone réciproque	8
4. Principes de l'étalonnage en champ libre par la méthode de la réciprocité	10
4.1 Généralités	10
4.2 Conditions acoustiques	10
4.3 Caractéristiques d'un microphone à l'émission et à la réception	12
4.4 Procédure de la réciprocité	14
4.5 Atténuation du son dans l'air	14
4.6 Expressions finales de l'efficacité en champ libre	14
5. Précision absolue de l'étalonnage	16
5.1 Généralités	16
5.2 Précision des facteurs intervenant dans l'étalonnage	16
5.3 Précision globale	18
6. Méthodes d'étalonnage et appareillage	18
6.1 Champ libre	18
6.2 Configuration de référence du blindage	18
6.3 Technique de la tension insérée	20
6.4 Charge acoustique	20
6.5 Influence de la pression statique	20
6.6 Tension de polarisation	20
6.7 Centre acoustique du microphone	20
6.8 Tension maximale du générateur	22
6.9 Bruit	22
ANNEXE A — Tables d'atténuation du son dans l'air	24
ANNEXE B — Valeurs de la position du centre acoustique du microphone	30

CONTENTS

	Page
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Explanation of terms	7
3.1 Open-circuit voltage	7
3.2 Free-field sensitivity of a microphone	7
3.3 Electrical impedance of a microphone	9
3.4 Acoustic impedance of a microphone	9
3.5 Acoustic centre of a microphone	9
3.6 Principal axis of a microphone	9
3.7 Free-field conditions	9
3.8 Reciprocal microphone	9
4. Principles of a free-field reciprocity calibration	11
4.1 General	11
4.2 Acoustic conditions	11
4.3 Receiving and transmitting characteristics of a microphone	13
4.4 Reciprocity procedure	15
4.5 Attenuation of sound in air	15
4.6 Final expressions for the free-field sensitivity	15
5. Absolute accuracy of calibration	17
5.1 General	17
5.2 Accuracy of factors influencing a calibration	17
5.3 Overall accuracy	19
6. Calibration methods and equipment	19
6.1 Free field	19
6.2 Reference configuration of ground shield	19
6.3 Insert voltage technique	21
6.4 Acoustic loading	21
6.5 Dependence on static pressure	21
6.6 Polarizing voltage	21
6.7 Acoustic centre of the microphone	21
6.8 Maximum generator voltage	23
6.9 Noise	23
APPENDIX A — Tables of air attenuation	25
APPENDIX B — Values of the position of the acoustic centre of the microphone	31

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE DE PRÉCISION POUR L'ÉTALONNAGE EN CHAMP LIBRE
DES MICROPHONES ÉTALONS À CONDENSATEUR D'UN POUCE
PAR LA TECHNIQUE DE LA RÉCIPROCITÉ**

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 recommandation a été établie par le Sous-Comité 29C: Dispositifs de mesure, du Comité d'Etudes N° 29 de la CEI: Electroacoustique.

Un premier projet fut discuté lors de la réunion tenue à Londres en avril 1971. A la suite de la réunion tenue à Oslo en septembre 1972, un projet, document 29C(Bureau Central)22, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1973.

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

Afrique du Sud (République d')	Japon
Allemagne	Norvège
Australie	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Canada	Suède
Corée (République de)	Suisse
Danemark	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**PRECISION METHOD FOR FREE-FIELD CALIBRATION
OF ONE-INCH STANDARD CONDENSER MICROPHONES
BY THE RECIPROCITY TECHNIQUE**

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 recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by Sub-Committee 29C, Measuring Devices, of IEC Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

A first draft was discussed at the meeting held in London in April 1971. As a result of the meeting held in Oslo in September 1972, a draft, document 29C (Central Office) 22, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia
Belgium
Canada
Czechoslovakia
Denmark
Germany
Israel
Japan

Korea (Republic of)
Norway
Romania
South Africa (Republic of)
Sweden
Switzerland
Turkey
United Kingdom

MÉTHODE DE PRÉCISION POUR L'ÉTALONNAGE EN CHAMP LIBRE DES MICROPHONES ÉTALONS À CONDENSATEUR D'UN POUCE PAR LA TECHNIQUE DE LA RÉCIPROCITÉ

1. Domaine d'application

La présente recommandation décrit une méthode d'étalonnage, par la technique de la réciprocité en champ libre, des capsules microphoniques à condensateur d'un pouce utilisées comme étalons de laboratoire.

2. Objet

L'objet de la présente recommandation est de spécifier des méthodes pour mesurer, avec une grande précision, certaines caractéristiques de microphones étalons à condensateur, afin que les discussions entre les laboratoires d'essais puissent être fondées sur des résultats clairement exprimés et reproductibles. Bien que l'étalonnage en champ libre des microphones à condensateur soit un problème général, la présente recommandation (en ce qui concerne les figures, les mesures et les valeurs numériques) se limite aux microphones habituellement appelés microphones à condensateur d'un pouce, dont le diamètre extérieur nominal est de $0,936 \text{ in} = 23,77 \text{ mm}$.

Note. — La méthode est décrite de manière détaillée de façon qu'on puisse estimer la précision globale d'un étalonnage quelconque.

3. Explication des termes

3.1 Tension à circuit ouvert

La tension à circuit ouvert d'un microphone à une fréquence donnée est la tension apparaissant à ses bornes électriques quand le microphone n'est pas chargé électriquement.

Cependant, en raison de la nature capacitive de la capsule, la tension aux bornes électriques dépendra de la charge électrique constituée par le montage mécanique du microphone. Pour les besoins de la présente recommandation, la tension à circuit ouvert est la tension apparaissant aux bornes électriques de la capsule mesurée par la technique de la tension insérée, quand le microphone est fixé à un blindage ayant la configuration de référence de la CEI mais n'est pas chargé électriquement par ailleurs (voir les paragraphes 6.2 et 6.3).

Unité: le volt, V.

3.2 Efficacité en champ libre d'un microphone

L'efficacité en champ libre M_f d'un microphone à une fréquence donnée et pour une onde sinusoïdale est le rapport de la tension à circuit ouvert du microphone à la pression acoustique qui existait au point où se trouve le centre acoustique du microphone, avant son introduction dans le champ acoustique. Le champ acoustique doit être une onde plane progressive, en champ libre, et l'angle d'incidence par rapport à l'axe principal du microphone doit être nul, sauf spécification contraire. Ce rapport est une quantité complexe, mais lorsqu'on n'attache pas d'importance à la phase, l'efficacité en champ libre peut être donnée par le module seulement.

Unité: le volt par pascal, V/Pa.

Notes 1. — On a omis l'indice U du symbole préférentiel M_{fU} puisque, dans toute la présente recommandation, l'efficacité est exprimée en fonction de la tension à circuit ouvert.

2. — On pourrait noter que le terme « réponse en champ libre » est parfois utilisé à la place de « efficacité en champ libre ».

3. — A des fréquences suffisamment basses pour que les perturbations du champ acoustique créées par le microphone soient négligeables, l'efficacité en champ libre diffère peu de l'efficacité en pression.

PRECISION METHOD FOR FREE-FIELD CALIBRATION OF ONE-INCCH STANDARD CONDENSER MICROPHONES BY THE RECIPROCITY TECHNIQUE

1. Scope

This recommendation describes a method for the free-field reciprocity calibration of one-inch condenser microphone capsules used as laboratory standards.

2. Object

The object of this recommendation is to specify methods of measuring certain characteristics of standard condenser microphones with high accuracy, so that discussions between testing authorities may be based on clearly expressed and reproducible results. Although the free-field calibration of condenser microphones is a problem of a general nature, this recommendation (as regards specific figures, measures and numbers) is restricted to microphones commonly known as one-inch condenser microphones, having a nominal outer diameter of 0.936 in = 23.77 mm.

Note. — The method is described in detail so that the overall precision obtained in any calibration can be estimated.

3. Explanation of terms

3.1 *Open-circuit voltage*

The open-circuit voltage of a microphone at a given frequency is the voltage appearing at its electrical terminals when the microphone is electrically unloaded.

However, owing to the capacitive nature of the cartridge, the voltage at the electrical terminals will depend on the electrical load caused by the mechanical attachment to the microphone. For the purpose of this recommendation, the open-circuit voltage is the voltage appearing at the electrical terminals of the cartridge as measured by the insert voltage technique when the microphone is attached to a ground shield having the IEC reference configuration, but is otherwise electrically unloaded (see Sub-clauses 6.2. and 6.3).

Unit: volt, V.

3.2 *Free-field sensitivity of a microphone*

The free-field sensitivity M_f of a microphone at a given frequency and for a sinusoidal waveform is the ratio of the open-circuit voltage of the microphone to the sound pressure that existed at the position of the acoustic centre of the microphone prior to the introduction of the microphone into the sound field. The sound field shall be a plane progressive wave under free-field conditions, and the angle of incidence with respect to the principal axis of the microphone shall be zero unless otherwise specified. This ratio is a complex quantity, but when the phase information is of no interest, the free-field sensitivity may denote its modulus only.

Unit: volt per pascal, V/Pa.

Notes 1. — The subscript U is omitted from the preferred symbol M_{fU} since the sensitivity is expressed in terms of the open-circuit voltage throughout this recommendation.

2. — It should be noted that the term “free-field response” is sometimes used instead of “free-field sensitivity”.

3. — At frequencies sufficiently low for the disturbance of the sound field by the microphone to be negligible, the free-field sensitivity approaches the pressure sensitivity.

3.2.1 Niveau d'efficacité en champ libre d'un microphone

Le niveau d'efficacité en champ libre relatif à une efficacité de référence M_r est défini par la formule $20 \log_{10} \left| \frac{M_f}{M_r} \right|$ dans laquelle $M_r = 1 \text{ V/Pa}$.

Unité: le décibel, dB.

3.2.2 Argument de l'efficacité en champ libre d'un microphone

L'argument de l'efficacité en champ libre d'un microphone à une fréquence donnée est la différence de phase entre la tension à circuit ouvert et la pression acoustique qui existait au point où se trouve le centre acoustique du microphone, avant son introduction dans le champ acoustique.

Unité: le degré ou le radian.

3.3 Impédance électrique d'un microphone

L'impédance électrique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la tension appliquée à ses bornes électriques au courant qui en résulte.

Unité: l'ohm, Ω .

Note. — Cette impédance est une fonction de la charge acoustique sur la membrane et de la configuration du blindage.

3.4 Impédance acoustique d'un microphone

Pour les besoins de la présente recommandation, l'impédance acoustique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la pression acoustique uniformément répartie sur toute la surface de la membrane au flux de vitesse à travers cette surface, les bornes électriques n'étant pas chargées.

Unité: le pascal seconde par mètre cube, Pa.s/m^3 .

3.5 Centre acoustique d'un microphone

Pour un transducteur émetteur sonore, à une fréquence donnée et pour une direction et une distance spécifiées, le centre acoustique est le point d'où semblent diverger les surfaces d'ondes approximativement sphériques qu'on observe dans une petite région autour du point considéré.

Note. — Le centre acoustique d'un transducteur réciproque utilisé en récepteur coïncide avec le centre acoustique du même transducteur utilisé en émetteur.

3.6 Axe principal d'un microphone

L'axe principal d'un microphone est la droite perpendiculaire à la membrane du microphone passant par le centre de cette membrane.

3.7 Conditions de champ libre

Les conditions de champ libre prédominent quand une onde acoustique peut se propager librement sans perturbation d'aucune sorte.

3.8 Microphone réciproque

Considérons un microphone passif linéaire.

A une fréquence particulière donnée, appelons:

p la représentation complexe de la pression acoustique sur la membrane

U la représentation complexe de la tension aux bornes électriques du microphone

q la représentation complexe du flux de vitesse de la membrane

I la représentation complexe du courant entre les bornes électriques du microphone

3.2.1 Free-field sensitivity level of a microphone

The free-field sensitivity level relative to a reference sensitivity M_r is defined as $20 \log_{10} \left| \frac{M_f}{M_r} \right|$ where M_r is 1 V/Pa.

Unit: decibel, dB.

3.2.2 Free-field sensitivity phase angle of a microphone

The free-field sensitivity phase angle of a microphone at a given frequency is the phase angle between the open-circuit voltage and the sound pressure at the position of the acoustic centre of the microphone prior to the introduction of the microphone into the sound field.

Unit: degree or radian.

3.3 Electrical impedance of a microphone

The electrical impedance of a microphone at a given frequency is the complex ratio of the voltage applied across its electrical terminals to the resulting current.

Unit: ohm, Ω .

Note. — This impedance is a function of the acoustic load on the diaphragm and of the groundshield configuration.

3.4 Acoustic impedance of a microphone

For the purpose of this recommendation, the acoustic impedance of a microphone at a given frequency is the complex ratio of the sound pressure to the volume velocity of the diaphragm, the sound pressure being uniformly applied to the diaphragm and the electrical terminals being unloaded.

Unit: pascal second per cubic metre, Pa.s/m³.

3.5 Acoustic centre of a microphone

For a sound-emitting transducer, at a given frequency and at a specified direction and distance, the acoustic centre is the point from which the approximately spherical wavefronts, as observed in a small region around the observation point, appear to diverge.

Note. — The acoustic centre of a reciprocal transducer when used as a receiver is coincident with the acoustic centre when used as a transmitter.

3.6 Principal axis of a microphone

The principal axis of a microphone is the line through the centre of, and perpendicular to, the diaphragm of the microphone.

3.7 Free-field conditions

Free-field conditions prevail when a sound wave can propagate freely without disturbance of any kind.

3.8 Reciprocal microphone

Consider a linear, passive microphone.

At a given single frequency, let:

p be the complex representation of the sound pressure at the diaphragm

U be the complex representation of the voltage at the electrical terminals of the microphone

q be the complex representation of the volume velocity of the diaphragm

I be the complex representation of the current through the electrical terminals of the microphone

Les équations liant les caractéristiques du microphone peuvent alors être écrites comme suit :

$$\begin{cases} Z_{11} I + Z_{12} q = U \\ Z_{21} I + Z_{22} q = p \end{cases} \quad (1)$$

où :

Z_{11} est l'impédance électrique du microphone quand la membrane est bloquée

Z_{22} est l'impédance acoustique du microphone quand il n'est pas chargé électriquement

On dit que le microphone est réciproque si les coefficients de transduction Z_{12} et Z_{21} sont tels que $Z_{12} = \pm Z_{21}$.

Lorsque la pression acoustique p n'est pas uniforme sur la surface de la membrane, comme c'est le cas aux fréquences élevées lorsque le microphone est dans une onde plane progressive, la localisation des bornes acoustiques n'est pas claire. Dans ce cas, une interprétation spéciale devra être donnée à p dans l'équation (1) (voir le paragraphe 4.3).

Pour tout transducteur réciproque et pour une orientation donnée, il existe un transducteur ponctuel équivalent qui possède les caractéristiques du transducteur réel en des points éloignés, tant à la réception qu'à l'émission. Ce transducteur ponctuel équivalent est situé au centre acoustique du transducteur réel pour cette direction particulière (voir le paragraphe 3.5).

4. Principes de l'étalonnage en champ libre par la méthode de la réciprocité

4.1 Généralités

Un étalonnage de microphone par la méthode de la réciprocité peut être effectué soit au moyen de trois microphones, deux d'entre eux devant être réciproques, soit au moyen d'une source sonore auxiliaire et de deux microphones dont l'un doit être réciproque.

4.1.1 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones

Considérons deux de ces microphones placés dans des conditions de champ libre. Utilisons l'un d'entre eux comme source sonore et l'autre comme récepteur sonore. On mesure le rapport de la tension de sortie à circuit ouvert du récepteur au courant d'entrée de l'émetteur. Lorsque les propriétés du couplage acoustique du système sont connues, le produit des efficacités en champ libre des deux microphones couplés peut être déterminé (voir le paragraphe 4.4). En effectuant des combinaisons des microphones (a), (b) et (c) deux à deux, on obtient trois produits indépendants desquels on peut déduire l'expression de l'efficacité en champ libre pour chacun des trois microphones.

4.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire

Ces deux microphones sont d'abord couplés acoustiquement dans des conditions de champ libre; le produit des efficacités en champ libre de ces deux microphones couplés est déterminé (voir le paragraphe 4.1.1). Le rapport des deux efficacités en champ libre peut être déterminé en soumettant successivement les deux microphones à la même pression acoustique fournie par la source sonore auxiliaire placée dans des conditions de champ libre. Ainsi, à partir du produit et du rapport des efficacités en champ libre des deux microphones, on peut déduire une expression donnant l'efficacité en champ libre de chacun d'entre eux.

4.2 Conditions acoustiques

La définition de l'efficacité en champ libre d'un microphone fait mention de la pression acoustique pour une onde plane progressive non perturbée. Dans le champ lointain d'une source sonore placée dans des conditions de champ libre, des ondes sphériques sont produites qui, à une distance suffisante de la source, sont peu différentes d'ondes planes progressives dans un espace limité. Ainsi, la distance entre le microphone récepteur et le microphone émetteur doit être suffisamment grande pour qu'on ait l'assurance d'avoir des ondes approximativement planes dans un espace convenable autour du microphone récepteur (voir le paragraphe 5.2.7).

En revanche, l'influence des perturbations dues à l'environnement augmente lorsque la distance entre les deux microphones s'accroît. Par conséquent, il faut choisir avec soin les conditions métrologiques afin que les exigences du paragraphe 5.2.8 soient satisfaites.