

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

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

**RECOMMANDATION DE LA C. E. I.**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**I. E. C. RECOMMENDATION**

**Publication 118**

Première édition — First edition

1959

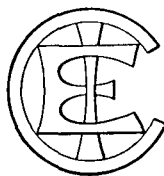
---

**Méthodes recommandées pour la mesure des caractéristiques  
électroacoustiques des appareils de correction auditive**

---

**Recommended methods for measurements of the  
electro-acoustical characteristics of hearing aids**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe  
Genève, Suisse

IECNORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60118:1959

**COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE**

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

**RECOMMANDATION DE LA C. E. I.**

**INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION**

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

**I. E. C. RECOMMENDATION**

**Publication 118**

Première édition — First edition

1959

---

**Méthodes recommandées pour la mesure des caractéristiques  
électroacoustiques des appareils de correction auditive**

---

**Recommended methods for measurements of the  
electro-acoustical characteristics of hearing aids**

---



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé  
Genève, Suisse

## SOMMAIRE

|                     | Pages |
|---------------------|-------|
| PRÉAMBULE . . . . . | 6     |
| PRÉFACE . . . . .   | 6     |

### CHAPITRE 1. OBJET

#### Articles

|                    |   |
|--------------------|---|
| 1. Objet . . . . . | 8 |
|--------------------|---|

### CHAPITRE 2. EXPLICATION DES TERMES

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Coupleur . . . . .                                        | 10 |
| 2.2 Méthode de substitution . . . . .                         | 10 |
| 2.3 Méthode de comparaison . . . . .                          | 10 |
| 2.4 Point de référence . . . . .                              | 10 |
| 2.5 Point de mesure . . . . .                                 | 10 |
| 2.6 Gain total ou gain acoustique . . . . .                   | 10 |
| 2.7 Gain total maximum ou gain acoustique maximum . . . . .   | 10 |
| 2.8 Courbe de réponse . . . . .                               | 10 |
| 2.9 Courbes de réponse globales . . . . .                     | 10 |
| 2.10 Courbe de réponse de base . . . . .                      | 10 |
| 2.11 Niveau de pression acoustique de saturation . . . . .    | 10 |
| 2.12 Niveau de pression acoustique nominale maximum . . . . . | 10 |

### CHAPITRE 3. EQUIPEMENT D'ESSAI

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Généralités . . . . .                                                                                | 12 |
| 3.2 Salle d'essais . . . . .                                                                             | 12 |
| 3.2.1 Conditions acoustiques pour la salle d'essais . . . . .                                            | 12 |
| 3.2.2 Bruit dans la salle d'essais . . . . .                                                             | 12 |
| 3.3 Source acoustique . . . . .                                                                          | 12 |
| 3.4 Coupleur . . . . .                                                                                   | 12 |
| 3.5 Appareillage pour la mesure de la pression acoustique . . . . .                                      | 12 |
| 3.5.1 Microphone à pression pour la mesure des niveaux de pression acoustique en champ libre . . . . .   | 12 |
| 3.5.2 Microphone à pression pour la mesure des niveaux de pression acoustique dans le coupleur . . . . . | 12 |
| 3.5.3 Système de mesure de la pression acoustique . . . . .                                              | 14 |
| 3.6 Appareillage supplémentaire pour le relevé automatique des courbes de réponse . . . . .              | 14 |
| 3.7 Précision globale . . . . .                                                                          | 14 |

## CONTENTS

|                    | Page |
|--------------------|------|
| FOREWORD . . . . . | 7    |
| PREFACE . . . . .  | 7    |

### CHAPTER 1. OBJECT

#### Clause

|                     |   |
|---------------------|---|
| 1. Object . . . . . | 9 |
|---------------------|---|

### CHAPTER 2. EXPLANATION OF TERMS

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 2.1 Coupler . . . . .                                          | 11 |
| 2.2 Substitution method . . . . .                              | 11 |
| 2.3 Comparison method. . . . .                                 | 11 |
| 2.4 Reference point . . . . .                                  | 11 |
| 2.5 Test point . . . . .                                       | 11 |
| 2.6 Air-to-air gain or acoustic gain . . . . .                 | 11 |
| 2.7 Maximum air-to air gain or maximum acoustic gain . . . . . | 11 |
| 2.8 Frequency response . . . . .                               | 11 |
| 2.9 Comprehensive frequency response . . . . .                 | 11 |
| 2.10 Basic frequency response . . . . .                        | 11 |
| 2.11 Saturation sound pressure level . . . . .                 | 11 |
| 2.12 Rated maximum sound pressure level . . . . .              | 11 |

### CHAPTER 3. TEST EQUIPMENT

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 General . . . . .                                                                  | 13 |
| 3.2 Test enclosure . . . . .                                                           | 13 |
| 3.2.1 Acoustic requirements for the test enclosure . . . . .                           | 13 |
| 3.2.2 Noise in the test enclosure . . . . .                                            | 13 |
| 3.3 Sound source . . . . .                                                             | 13 |
| 3.4 Coupler . . . . .                                                                  | 13 |
| 3.5 Apparatus for measurement of sound pressure . . . . .                              | 13 |
| 3.5.1 Pressure microphone for measurement of free field sound pressure level . . . . . | 13 |
| 3.5.2 Pressure microphone for measurement of coupler sound pressure level . . . . .    | 13 |
| 3.5.3 Sound pressure measurement system. . . . .                                       | 15 |
| 3.6 Additional apparatus for automatic recording of frequency response . . . . .       | 15 |
| 3.7 Overall accuracy . . . . .                                                         | 15 |

## CHAPITRE 4. PROCÉDURE D'ESSAI

|                                                                                                                    | Pages |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 4.1 Généralités . . . . .                                                                                          | 14    |
| 4.2 Etalonnage du champ acoustique . . . . .                                                                       | 16    |
| 4.2.1 Choix du point de mesure . . . . .                                                                           | 16    |
| 4.2.2 Mesure de la pression acoustique . . . . .                                                                   | 16    |
| 4.3 Position de l'appareil de correction auditive pour l'essai . . . . .                                           | 18    |
| 4.3.1 Point de référence de l'appareil de correction auditive . . . . .                                            | 18    |
| 4.3.2 Support mécanique de l'appareil de correction auditive . . . . .                                             | 18    |
| 4.4 Conditions opérationnelles normales pour l'appareil de correction auditive . . . . .                           | 20    |
| 4.5 Caractéristique du potentiomètre de gain . . . . .                                                             | 20    |
| 4.6 Méthode normale de représentation graphique des courbes de réponse . . . . .                                   | 22    |
| 4.7 Influence de la position du potentiomètre de gain sur la courbe de réponse . . . . .                           | 22    |
| 4.8 Influence de la position du contrôle de tonalité sur la courbe de réponse . . . . .                            | 22    |
| 4.9 Courbes de réponse globales et courbe de réponse de base . . . . .                                             | 22    |
| 4.10 Niveau de pression acoustique de saturation dans le coupleur . . . . .                                        | 24    |
| 4.11 Gain acoustique maximum . . . . .                                                                             | 26    |
| 4.12 Influence sur le gain acoustique de la variation des tensions de chauffage et de polarisation . . . . .       | 26    |
| 4.13 Influence sur le gain acoustique de la variation de la résistance interne des alimentations . . . . .         | 26    |
| 4.14 Courbe de réponse et courbe d'impédance électrique de l'écouteur . . . . .                                    | 28    |
| 4.15 Distorsion harmonique . . . . .                                                                               | 28    |
| 4.16 Influence sur la distorsion harmonique de la variation des tensions de chauffage et de polarisation . . . . . | 28    |
| 4.17 Bruit de fond de l'appareil . . . . .                                                                         | 30    |
| 4.18 Consommation . . . . .                                                                                        | 30    |
| ANNEXE : Problèmes pour lesquels des informations complémentaires sont demandées . . . . .                         | 32    |

# CHAPTER 4. TEST PROCEDURE

|                                                                                                 | Page |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1 General . . . . .                                                                           | 15   |
| 4.2 Calibrating the sound field . . . . .                                                       | 17   |
| 4.2.1 Choice of a test point . . . . .                                                          | 17   |
| 4.2.2 Measurement of the sound pressure . . . . .                                               | 17   |
| 4.3 Locating the hearing aid for test . . . . .                                                 | 19   |
| 4.3.1 Reference point of the hearing aid . . . . .                                              | 19   |
| 4.3.2 Mechanical support for the hearing aid . . . . .                                          | 19   |
| 4.4 Normal operating conditions for the hearing aid . . . . .                                   | 21   |
| 4.5 Characteristic of the gain control . . . . .                                                | 21   |
| 4.6 Normal method of graphical presentation of frequency-response curves . . . . .              | 23   |
| 4.7 Effect of gain control positions on frequency response . . . . .                            | 23   |
| 4.8 Effect of tone control positions on frequency response . . . . .                            | 23   |
| 4.9 Basic and comprehensive frequency response . . . . .                                        | 23   |
| 4.10 Saturation sound pressure level in the coupler . . . . .                                   | 25   |
| 4.11 Maximum acoustic gain . . . . .                                                            | 27   |
| 4.12 Effect on acoustic gain of variation of battery or supply voltage . . . . .                | 27   |
| 4.13 Effect on acoustic gain of variation of internal resistance of battery or supply . . . . . | 27   |
| 4.14 Frequency response and electrical impedance of the earphone . . . . .                      | 29   |
| 4.15 Harmonic distortion. . . . .                                                               | 29   |
| 4.16 Effect on harmonic distortion of variation of battery or supply voltage . . . . .          | 29   |
| 4.17 Random noise from the hearing aid . . . . .                                                | 31   |
| 4.18 Battery current . . . . .                                                                  | 31   |
| APPENDIX : Problems on which further information is required . . . . .                          | 33   |

## COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

### MÉTHODES RECOMMANDÉES POUR LA MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTROACOUSTIQUES DES APPAREILS DE CORRECTION AUDITIVE

#### PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C.E.I. 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 cette unification internationale, la C.E.I. exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C.E.I. dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

#### PRÉFACE

Le premier projet des présentes recommandations fut établi par le Comité National Danois et discuté en partie par le Comité d'Etudes N° 29 de la C.E.I. : Electroacoustique, à Philadelphie en septembre 1954. Deux autres projets lui succédèrent qui furent discutés respectivement à Berne en septembre 1955 et à Paris en février 1957.

A la suite de la réunion de Paris, le document fut soumis aux Comités nationaux en octobre 1957, pour approbation suivant la Règle des Six Mois.

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

|                       |             |                         |
|-----------------------|-------------|-------------------------|
| Allemagne             | Hongrie     | Suède                   |
| Autriche              | Italie      | Suisse                  |
| Belgique              | Norvège     | Tchécoslovaquie         |
| Danemark              | Pays-Bas    | Union des Républiques   |
| Etats-Unis d'Amérique | Pologne     | Socialistes Soviétiques |
| France                | Royaume-Uni | Yougoslavie             |

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

### RECOMMENDED METHODS FOR MEASUREMENTS OF THE ELECTRO-ACOUSTICAL CHARACTERISTICS OF HEARING-AIDS

#### FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I.E.C. 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 this international unification, the I.E.C. expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I.E.C. recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

#### PREFACE

The first draft of these Recommendations was prepared by the Danish National Committee and partly discussed by I.E.C. Technical Committee No. 29: Electro-acoustics, in Philadelphia in 1954. It was followed by two further drafts, which were respectively discussed in Berne, September 1955, and Paris, February 1957.

Following the Paris meeting, the document was submitted to the National Committees in October 1957, for approval under the Six Months' Rule.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

|                |             |                           |
|----------------|-------------|---------------------------|
| Austria        | Hungary     | Switzerland               |
| Belgium        | Italy       | Union of Soviet Socialist |
| Czechoslovakia | Netherlands | Republics                 |
| Denmark        | Norway      | United Kingdom            |
| France         | Poland      | United States of America  |
| Germany        | Sweden      | Yugoslavia                |

## MÉTHODES RECOMMANDÉES POUR LA MESURE DES CARACTÉRISTIQUES ÉLECTROACOUSTIQUES DES APPAREILS DE CORRECTION AUDITIVE

### CHAPITRE 1. OBJET

- 1.1 L'objet de ces recommandations est de décrire des méthodes pratiques et reproductibles en vue de déterminer un certain nombre de caractéristiques physiques des appareils de correction auditive à conduction aérienne, utilisant une amplification électronique et un écouteur couplé à l'oreille au moyen d'un embout interne, c'est-à-dire un embout moulé ou tout dispositif analogue.

Les méthodes spécifiées dans ce document donnent des informations relatives à la mesure des caractéristiques suivantes:

- 4.5 Caractéristique du potentiomètre de gain;
- \*4.7 Influence de la position du potentiomètre de gain sur la courbe de réponse;
- 4.8 Influence de la position du contrôle de tonalité sur la courbe de réponse;
- 4.9 Courbes de réponse globale et courbe de réponse de base;
- 4.10 Niveau de pression acoustique de saturation dans le coupleur;
- 4.11 Gain acoustique maximum;
- \*4.12 Influence sur le gain acoustique de la variation des tensions de chauffage et de polarisation;
- \*4.13 Influence sur le gain acoustique de la variation de la résistance interne des alimentations;
- \*4.14 Courbe de réponse et courbe d'impédance électrique de l'écouteur;
- 4.15 Distorsion harmonique;
- 4.16 Influence sur la distorsion harmonique de la variation des tensions de chauffage et de polarisation;
- \*4.17 Bruit de fond de l'appareil;
- 4.18 Consommation.

- 1.2 Les essais acoustiques sont basés sur la technique du champ acoustique libre dans lequel l'appareil de correction auditive est soumis à une onde plane progressive, l'écouteur étant couplé à un coupleur normalisé.

- 1.3 Sauf spécification contraire, toutes les mesures sont exécutées sans utiliser d'embout moulé, lequel est normalement considéré comme étant incorporé à l'écouteur ou à l'oreille artificielle utilisée (voir art. 3.4).

- 1.4 Les résultats obtenus par les méthodes spécifiées donnent les caractéristiques de l'appareil dans les conditions de l'essai, mais ne correspondent pas nécessairement exactement aux caractéristiques de l'appareil dans les conditions pratiques d'utilisation.

Pour cette raison, la différence entre les conditions d'essais et l'utilisation pratique doit être prise en considération dans l'interprétation des résultats.

\* Les essais marqués d'un astérisque ne sont pas obligatoires. Les articles correspondants sont imprimés en caractères *italiques*.

## RECOMMENDED METHODS FOR MEASUREMENTS OF THE ELECTRO-ACOUSTICAL CHARACTERISTICS OF HEARING AIDS

### CHAPTER 1. OBJECT

- 1.1 The purpose of these recommendations is to describe practicable and reproducible methods of determining certain physical performance characteristics of air-conduction hearing aids using electronic amplification and acoustically coupled to the eardrum by means of ear inserts, e.g. ear moulds or similar devices.

The methods specified in this publication give information on the measurement of:

- 4.5 Characteristics of the gain control;
  - \*4.7 Effect of gain-control positions on frequency response;
  - 4.8 Effect of tone-control positions on frequency response;
  - 4.9 Basic and comprehensive frequency response;
  - 4.10 Saturation sound pressure level in the coupler;
  - 4.11 Maximum acoustic gain;
  - \*4.12 Effect on acoustic gain of variation of battery or supply voltage;
  - \*4.13 Effect on acoustic gain of variation of internal resistance of battery or supply;
  - \*4.14 Frequency response and electrical impedance of the earphone;
  - 4.15 Harmonic distortion;
  - 4.16 Effect on harmonic distortion of variation of battery or supply voltage;
  - \*4.17 Random noise from the hearing aid;
  - 4.18 Battery current.
- 1.2 The acoustic test procedure is based on the free field technique, in which the hearing aid is placed in a plane progressive wave, with the earphone coupled to a standardized coupler.
- 1.3 Unless otherwise specified all measurements are carried out without using an ear insert (ear mould) which is normally to be regarded as incorporated in the coupler or the artificial ear employed (see Clause 3.4).
- 1.4 The results obtained by the methods specified herein express the performance under the conditions of the test, but will not necessarily agree exactly with the performance of the hearing aid under practical conditions of use.

For this reason, the difference between practical and test conditions must be borne in mind in interpreting the test results.

---

\* Tests marked with an asterisk are optional. The corresponding clauses are printed in *italic type*.

## CHAPITRE 2. EXPLICATION DES TERMES

### 2.1 Coupleur

Le coupleur est une cavité d'une forme prédéterminée qui est utilisée pour l'adaptation des écouteurs. Il est utilisé avec un microphone pour la mesure de la pression développée dans la cavité.

### 2.2 Méthode de substitution

Méthode de mesure de la courbe de réponse d'un appareil de correction auditive dans laquelle cet appareil et le microphone utilisé pour la mesure de la pression acoustique dans le champ libre sont alternativement placés au même point (point de mesure) dans le champ acoustique.

### 2.3 Méthode de comparaison

Autre méthode de mesure de la courbe de réponse de l'appareil de correction auditive employée dans certains cas, pour des raisons pratiques, et dans laquelle l'appareil et le microphone utilisés pour la mesure de la pression acoustique dans le champ libre sont simultanément placés en deux points différents du champ acoustique.

*Note:* Les points choisis doivent être tels que la courbe de réponse obtenue en utilisant la méthode de comparaison soit comparable, dans des limites de précision donnée, aux résultats correspondants obtenus par la méthode de substitution.

### 2.4 Point de référence (d'un appareil de correction auditive)

C'est un point de l'appareil de correction auditive choisi dans le but de définir sa position (voir art. 4.3).

### 2.5 Point de mesure

Point de la salle d'essai auquel les mesures de pression dans le champ acoustique libre sont exécutées et auquel le point de référence de l'appareil de correction auditive est placé pour l'essai (voir art. 4.3).

### 2.6 Gain total ou gain acoustique (à une fréquence donnée et dans des conditions d'essais spécifiées)

Valeur de laquelle le niveau de pression acoustique, développé par l'écouteur de l'appareil de correction auditive dans le coupleur, dépasse le niveau de pression acoustique dans le champ libre auquel l'appareil de correction auditive, ou son microphone s'il en est séparé, est exposé.

### 2.7 Gain total maximum ou gain acoustique maximum (à une fréquence donnée)

Valeur maximum du gain total fourni par l'appareil de correction auditive correspondant à une position quelconque des divers réglages d'un appareil de correction auditive.

### 2.8 Courbe de réponse

Variation du gain total de l'appareil de correction auditive, exprimée en fonction de la fréquence, pour des conditions d'essais spécifiées.

### 2.9 Courbes de réponse globales

Famille de courbes de réponse présentées de façon telle qu'elles mettent en évidence les caractéristiques « entrée-sortie » de l'appareil de correction auditive, dans toute sa gamme de fonctionnement.

### 2.10 Courbe de réponse de base

Une des courbes de réponse de la famille définie en 2.9 et qui est choisie comme référence dans le but de mettre en évidence la caractéristique de l'appareil.

### 2.11 Niveau de pression acoustique de saturation (à une fréquence donnée et dans des conditions d'essais spécifiées)

Niveau de pression acoustique efficace maximum fourni dans le coupleur par l'écouteur de l'appareil de correction auditive et obtenu quelle que soit la valeur du niveau de pression acoustique d'entrée.

### 2.12 Niveau de pression acoustique nominale maximum (à une fréquence donnée)

La plus faible valeur du niveau de pression acoustique obtenu dans le coupleur, pour lequel la distorsion harmonique totale atteint 10% (voir art. 4.15).

## CHAPTER 2. EXPLANATION OF TERMS

### 2.1 **Coupler**

A coupler is a cavity of predetermined form which is used for the loading of earphones. It is provided with a microphone for measurement of the pressure developed in the cavity.

### 2.2 **Substitution method**

A method of measurement of the response of a hearing aid in which the hearing aid, and the microphone employed to measure the free field sound pressure, are placed alternately at the same point (the test point) in the sound field.

### 2.3 **Comparison method**

An alternative method of measurement of the response of a hearing aid, sometimes employed for reasons of practical convenience, in which the hearing aid, and the microphone employed to measure the free-field sound pressure, are placed simultaneously at two different points in the sound field.

*Note:* The points chosen shall be such that the results of a response test carried out by the comparison method agree within specified limits of accuracy with the corresponding results obtained by the substitution method.

### 2.4 **Reference point** (*of a hearing aid*)

A point on the hearing aid chosen for the purpose of defining its position (see Clause 4.3).

### 2.5 **Test point**

A position in the test enclosure to which the measurements of the free-field pressure are referred, and at which the reference point of the hearing aid is located for test purposes (see Clause 4.3).

### 2.6 **Air-to-air gain or acoustic gain** (*at a specified frequency and under specified operating conditions*)

The amount by which the sound pressure level developed by the hearing-aid earphone in the coupler exceeds the sound pressure level in the free field into which the hearing aid, or its microphone, if separate, is introduced.

### 2.7 **Maximum air-to-air gain or maximum acoustic gain** (*at a specified frequency*)

The maximum value of the air-to-air gain obtainable from the hearing aid allowing all possible settings of the hearing-aid controls.

### 2.8 **Frequency response**

The air-to-air gain of the hearing aid expressed as a function of the frequency under specified test conditions.

### 2.9 **Comprehensive frequency response.**

A family of frequency responses (frequency-response curves) arranged in such a way as to exhibit the input-output characteristics of the hearing aid over its full range of operation.

### 2.10 **Basic frequency response**

One of the family of frequency responses defined in Clause 2.9, which is chosen as a reference condition for purposes of description.

### 2.11 **Saturation sound pressure level** (*at a specified frequency and under specified operating conditions*)

The maximum (r.m.s.) sound pressure level obtainable in the coupler from the earphone of the hearing aid allowing all possible values of the input sound pressure level.

### 2.12 **Rated maximum sound pressure level** (*at a specified frequency*)

The lowest value of sound pressure level in the coupler at which the total harmonic distortion reaches 10 per cent (see Clause 4.15).

### CHAPITRE 3. EQUIPEMENT D'ESSAI

#### 3.1 Généralités

Dans cette recommandation, tous les niveaux de pression acoustique spécifiés sont rapportés à  $20 \mu\text{N/m}^2$  (0,0002 barye).

#### 3.2 Salle d'essais

3.2.1 *Conditions acoustiques pour la salle d'essais.* La salle d'essais doit fournir, dans les conditions d'utilisation, un champ acoustique libre dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz, ou des ondes planes progressives équivalentes.

3.2.2 *Bruit dans la salle d'essais.* Il est désirable que le niveau de pression acoustique relatif au bruit ambiant, dans la salle d'essais, mesuré avec le système de mesure de pression spécifié à l'article 3.5, soit au moins inférieur de 20 dB au plus faible niveau de pression acoustique utilisé et, en tout état de cause, il faut qu'il soit inférieur de plus de 10 dB au plus faible niveau de pression acoustique utilisé. Les autres sources possibles de parasites, les effets magnétiques sur les microphones du type magnétique par exemple, doivent être suffisamment faibles pour ne pas affecter les résultats de l'essai d'une valeur supérieure aux valeurs limites spécifiées précédemment en ce qui concerne le bruit ambiant.

#### 3.3 Source acoustique

La source acoustique doit pouvoir fournir, au point de mesure, le niveau de pression acoustique désiré à  $\pm 1$  dB près, avec une précision de fréquence supérieure à  $\pm 2\%$  de la valeur choisie. Pour la mesure des courbes de réponse, la distorsion totale de la source ne doit pas excéder 2%. Pour les mesures de distorsion, la distorsion totale de la source ne doit pas excéder 0,5%.

#### 3.4 Coupleur

Dans les mesures relatives aux appareils de correction auditive, le coupleur a deux buts distincts: le premier est de mettre en évidence, aussi fidèlement que possible, la qualité de l'appareil de correction auditive; le second est de permettre l'échange des spécifications relatives aux appareils de correction auditive, dans des conditions aussi simples que possible.

En ce qui concerne le premier de ces buts, il n'y a pas, jusqu'à présent, d'accord international relatif à la réalisation d'une oreille artificielle réelle simulant l'impédance de l'oreille humaine moyenne, quoique des recherches soient exécutées en ce sens. En attendant un tel accord, la C.E.I. recommande des échanges d'information en ce qui concerne les caractéristiques des oreilles artificielles utilisées et normalisées dans chaque pays.

En ce qui concerne l'échange des spécifications relatives aux appareils de correction auditive, il est recommandé que le coupleur de  $2 \text{ cm}^3$ , conforme au coupleur de la C.E.I., soit momentanément adopté.

*Note.* S'il était possible, dans l'avenir, d'obtenir un accord international relatif à une oreille artificielle réelle, suffisamment simple, reproductible et de construction robuste, il serait recommandé de prendre en considération cette nouvelle oreille en vue du remplacement du coupleur de référence de la C.E.I.

#### 3.5 Appareillage pour la mesure de la pression acoustique

3.5.1 *Microphone à pression pour la mesure des niveaux de pression acoustique en champ libre.*

Le microphone doit être étalonné en champ acoustique libre.

*Note:* L'étalonnage du microphone doit être effectué suffisamment souvent pour s'assurer que son efficacité reste dans les limites permises durant les mesures.

3.5.2 *Microphone à pression pour la mesure des niveaux de pression acoustique dans le coupleur \*.*

Le microphone doit être étalonné en pression.

\* A l'étude.

## CHAPTER 3. TEST EQUIPMENT

### 3.1 General

Throughout these recommendations all sound pressure levels specified are referred to  $20 \mu\text{N/m}^2$  ( $0.0002 \text{ dyn/cm}^2$ ).

### 3.2 Test enclosure

3.2.1 *Acoustic requirements for the test enclosure.* The test enclosure shall, in the position to be used, provide essentially free-field conditions over the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s), or the equivalent progressive wave conditions.

3.2.2 *Noise in the test enclosure.* It is desirable that the sound pressure level of the ambient noise in the enclosure, measured with the system for free-field sound pressure measurement as specified in Clause 3.5, should be at least 20 dB below the lowest input sound pressure level employed, and under no conditions shall it be less than 10 dB below the lowest input sound pressure level. Other unwanted stimuli, such as magnetic effects on magnetic type microphones, shall be sufficiently low not to affect the test results more than would the limiting values of the ambient noise specified above.

### 3.3 Sound source

The source shall be capable of maintaining at the test point the requisite sound pressure level within  $\pm 1$  dB, with an accuracy of frequency within  $\pm 2$  per cent of the desired value. For response measurement the total distortion of the source shall not exceed 2.0 per cent. For distortion measurement the total distortion of the source shall not exceed 0.5 per cent.

### 3.4 Coupler

There are two possible functions for the coupler in hearing-aid measurements. The first is to portray as nearly as possible the true behaviour of a hearing aid; the second is to provide a simple and ready basis for the exchange of hearing-aid specifications.

As regards the first objective there is not as yet international agreement on the design of a true artificial ear, simulating the impedance of the average human ear, although research is being carried out with this object in view. Pending such agreement, the I.E.C. recommends that there should be an interchange of information regarding the characteristics of the artificial ears used as standard in the various countries.

As regards the exchange of hearing-aid specifications, it is recommended that the  $2 \text{ cm}^3$  coupler in accordance with the I.E.C. reference coupler \* should be adopted for the time being.

*Note:* If it should be proved possible at a later date to arrive at international agreement on an improved true artificial ear of sufficiently simple, reproducible and robust construction, it is recommended that consideration then be given to the replacement of the I.E.C. reference coupler by this new development.

### 3.5 Apparatus for measurement of sound pressure

3.5.1 *Pressure microphone for measurement of free-field sound pressure level.* The microphone shall be provided with a free-field calibration.

*Note:* The calibration of the microphone shall be repeated sufficiently often to ensure that it remains within the permitted limits during the measurements.

3.5.2 *Pressure microphone for measurement of coupler sound pressure level \*.* The microphone shall be provided with a pressure calibration.

\* Under consideration.

3.5.3 *Système de mesure de la pression acoustique.* Les appareillages utilisés pour la mesure des niveaux de pression acoustique en champ libre, au point de mesure, et pour la mesure du niveau de pression acoustique produit par l'écouteur de l'appareil de correction auditive dans le coupleur, doivent remplir les conditions suivantes:

- a) Courbe de réponse horizontale à  $\pm 1$  dB près dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz.

*Note:* Si, dans certaines conditions, il est nécessaire d'utiliser un système de mesure sélectif de façon à s'assurer que la réponse de l'appareil de correction auditive au signal qui lui est appliqué se différencie du bruit de fond propre de l'appareil, les caractéristiques de ce système sélectif doivent être mentionnées dans le rapport d'essais.

- b) L'étalonnage global du système de mesure de la pression acoustique doit être exécuté à  $\pm 1$  dB près.

*Note:* Si l'étalonnage du système de mesure de la pression acoustique dépend de la température, de l'humidité et de la pression statique, des corrections doivent être faites, si cela est nécessaire.

- c) Le pourcentage de distorsion harmonique totale doit être inférieur à 1 % pour des niveaux de pression acoustique inférieurs à 130 dB dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz.

- d) Le niveau de pression acoustique correspondant au gonflement, à l'agitation thermique et aux autres sources de bruit doit être inférieur à 30 dB.

- e) L'indicateur de sortie utilisé doit donner des indications efficaces avec une approximation aussi grande que possible. Le type d'indicateur utilisé doit être mentionné dans le rapport d'essais.

*Note:* Il est bien connu que le type d'indicateur utilisé peut influencer les résultats d'essais de façon non négligeable lorsqu'on mesure des tensions non sinusoïdales. De telles tensions non sinusoïdales peuvent apparaître lorsqu'on mesure les courbes de réponses avec des niveaux d'entrée élevés, lorsqu'on détermine la courbe correspondant à la saturation et lorsqu'on mesure la distorsion harmonique.

### 3.6 Appareillage supplémentaire pour le relevé automatique des courbes de réponse.

L'appareillage supplémentaire suivant peut être utilisé:

- a) Equipement capable de maintenir automatiquement, au point de mesure, le niveau de pression acoustique désiré à  $\pm 1$  dB près, dans la bande de fréquence 200 — 5 000 Hz.
- b) Un enregistreur de niveau automatique comme enregistreur de sortie.

*Note:* Voir la note de l'article 3.5.3 e) relative à l'influence des caractéristiques de l'enregistreur de niveau sur les résultats des essais.

### 3.7 Précision globale

Une précision globale de  $\pm 1,5$  dB doit être obtenue, si cela est possible.

## CHAPITRE 4. PROCÉDURE D'ESSAI

### 4.1 Généralités

Les procédures d'essais décrites dans ce chapitre sont relatives à l'étalonnage du champ acoustique libre, à l'emplacement de l'appareil de correction auditive et à la technique de mesure des caractéristiques mentionnées à l'article 1.1.

3.5.3 *Sound pressure measurement system.* The apparatus used for measurement of the free field sound pressure level at the test point and that used for the coupler sound pressure level produced by the hearing-aid earphone, shall comply with the following requirements:

- a) The frequency response shall be flat within  $\pm 1$  dB in the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s).

*Note:* If under certain conditions it is necessary to use a selective measuring system in order to ensure that response of the hearing aid to the signal can be differentiated from inherent noise in the hearing aid, such a selective system may be used, provided this is stated in the report.

- b) The overall calibration of the sound pressure measurement system shall be accurate within  $\pm 1$  dB.

*Note:* If the calibration of the sound measurement system depends on temperature, relative humidity and static pressure, corrections for such dependence shall be made when necessary.

- c) The percentage total harmonic distortion shall be less than 1 per cent for sound pressure levels up to 130 dB in the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s).
- d) The sound pressure level corresponding to hum, thermal agitation and other noise sources shall be less than 30 dB.
- e) The output indicator used shall give r.m.s. indication to the closest possible approximation. The type of indicator used shall be stated in the report on the measurements.

*Note:* It is well known that the type of output indicator employed may influence the test results significantly if a non-sinusoidal voltage is being measured. Such non-sinusoidal voltages may be present when making measurements of comprehensive response with high input levels, when determining the saturation output curve, and when measuring the harmonic distortion.

### 3.6 Additional apparatus for automatic recording of frequency response.

The following additional apparatus may be used:

- a) Equipment which is capable of maintaining at the test point the requisite sound pressure level automatically within  $\pm 1$  dB over the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s).
- b) An automatic level recorder as output indicator.

*Note:* See the note to Clause 3.5.3 e) regarding the influence of the characteristic of the level recorder on the test results.

### 3.7 Overall accuracy

An overall accuracy of  $\pm 1.5$  dB shall, if possible, be obtained.

## CHAPTER 4. TEST PROCEDURE

### 4.1 General

Test procedures are described in this chapter for calibrating the sound field, locating the hearing aid, and for making measurements of the characteristics mentioned in Clause 1.1.

## 4.2 Etalonnage du champ acoustique

4.2.1 *Choix du point de mesure.* Selon la position de la source acoustique disposée dans la salle de mesure, choisir le point où sera placé l'appareil de correction auditive à une distance suffisante de cette source, de façon à obtenir une onde plane progressive sur toute la surface de l'appareil de correction auditive. La distance entre la source acoustique et le point de mesure doit être suffisante pour éviter tout effet d'inter-réflexion entre cette source et l'appareil de correction auditive, lorsque ce dernier est mis en place.

Le point de mesure est généralement choisi à une distance comprise entre 0,5 et 1,5 m de la source acoustique. Lorsqu'on exécute des mesures par la méthode de substitution, le point de mesure est généralement sur l'axe de la source acoustique. Lorsqu'on exécute des mesures par la méthode de comparaison, le point de mesure est choisi à environ 10 ou 15 cm de l'axe de la source acoustique, à une distance de 0,5 à 1 m de cette source.

Pour information complémentaire, voir l'article 4.3.

Le point de mesure doit être défini avec précision.

4.2.2 *Mesure de la pression acoustique.* Le microphone à pression doit être placé de façon que le point de ce microphone pour lequel l'étalonnage a été exécuté (en champ acoustique libre) soit placé au point de mesure. Il est important de noter que l'orientation du microphone à pression doit être conforme à l'orientation utilisée au laboratoire qui a exécuté l'étalonnage.

La technique utilisée pour l'étalonnage du champ acoustique diffère selon que l'on utilise la méthode de substitution ou la méthode de comparaison.

a) *Méthode de substitution.* Deux méthodes peuvent être utilisées dans ce cas : soit la méthode point par point, soit la méthode automatique.

i) *Méthode point par point.* La détermination de la pression acoustique au point de mesure est exécutée en l'absence de l'appareil de correction auditive et on relève la tension électrique appliquée à la source acoustique pour obtenir les niveaux de pression acoustique désirés au point de mesure.

ii) *Méthode automatique.* La mesure de la pression acoustique au point de mesure est exécutée en l'absence de l'appareil de correction auditive, un enregistrement continu de la pression acoustique en fonction de la fréquence étant effectué par un enregistreur automatique de niveau et la tension électrique appliquée à la source acoustique, à une fréquence donnée, étant alors relevée.

*Note:* Lorsqu'on relève les courbes de réponse, il est très désirable de maintenir, dans le champ acoustique libre, une pression acoustique suffisamment faible, de façon que l'on obtienne des relations entrée-sortie essentiellement linéaires. Des variations de  $\pm 3$  dB du niveau de pression acoustique sont permises si des corrections sont faites dans la présentation des résultats. Les erreurs relatives aux niveaux d'entrée spécifiés ne peuvent pas être appliquées directement en tant que corrections sur les niveaux de pression acoustique obtenus dans le coupleur, sauf si l'appareil de correction auditive fonctionne dans des limites dans lesquelles les relations entrée-sortie sont essentiellement linéaires.

b) *Méthode de comparaison.* La pression acoustique au point de mesure est maintenue constante en utilisant un microphone à pression et l'équipement spécial mentionné à l'article 3.6. a). L'appareil de correction auditive est placé au point spécifié à l'article 4.3.

## 4.2 Calibrating the sound field

- 4.2.1 *Choice of a test point.* With the position of the sound source fixed in the test enclosure, a test point is chosen, at a sufficient distance from the source, at which there is an approximately plane wave front over the relatively small area of the hearing aid. The distance from the sound source to the test point shall be sufficient to prevent objectionable inter-reflection effects between the sound source and the hearing aid when the latter is located at the test point.

The test point is usually chosen at a distance of 0.5 to 1.5 m from the sound source. When making measurements using the substitution method, the test point is usually on the axis of the sound source. When making measurements using the comparison method, the test point is chosen about 10 to 15 cm off the axis of the sound source at a distance of 0.5 to 1.5 m from the sound source.

For further information see Clause 4.3.

The test point shall be accurately reproducible.

- 4.2.2 *Measurement of the sound pressure.* The pressure microphone shall be so placed that the point on the microphone for which the calibration (in terms of its free-field sensitivity) applies is placed at the test point. It is important to note that the orientation of the pressure microphone should be in accordance with the orientation used at the calibrating laboratory.

The technique used for the actual calibration of the sound field differs for the substitution and comparison methods.

- a) *Substitution method.* Two methods may be used in this case, either point-by-point measurements or automatic measurements.
- i) *Point-by-point measurements.* The calibration of the sound pressure at the test point is made with the hearing aid absent, note being made of the electrical input to the sound source required to provide the sound pressure levels desired for a particular test.
  - ii) *Automatic measurements.* The calibration of the sound pressure at the test point is made with the hearing aid absent, a continuous record of the sound pressure versus frequency being recorded on an automatic level recorder and note being made of the electrical input to the sound source at a selected frequency.

*Note:* In taking response curves, it is highly desirable to maintain a sound pressure in the free field that is uniform with frequency at each test level. At input sound pressure levels low enough for essentially linear input-output conditions to exist, variations of  $\pm 3$  dB in the input sound pressure level are permissible if corrected for in plotting the results. Departure from the specified input test levels cannot be applied directly as corrections to the coupler sound pressure levels unless the hearing aid is operating in a range where essentially linear input-output relations apply.

- b) *Comparison method.* The sound pressure at the test point is kept constant using the pressure microphone and the special equipment mentioned in Clause 3.6 a). The hearing aid is placed at the position specified in Clause 4.3.

#### 4.3 Position de l'appareil de correction auditive pour l'essai

- 4.3.1 *Point de référence de l'appareil de correction auditive.* Le point de référence choisi pour l'appareil de correction auditive doit être normalement le centre de la surface de la grille du microphone, mais lorsque cela est impossible (par exemple dans le cas où il y a deux grilles) un point de référence correct doit être utilisé.

Le point de référence choisi doit être mentionné dans le rapport d'essais.

L'appareil de correction auditive doit être placé de façon à ce que le point de référence choisi fasse face à la source acoustique et de manière que la direction du son incident soit perpendiculaire à la surface où se trouve le point de référence. La position de l'appareil de correction auditive diffère selon que l'on utilise la méthode de substitution ou la méthode de comparaison.

- a) *Méthode de substitution.* Le point de référence de l'appareil de correction auditive doit coïncider avec le point de mesure, c'est-à-dire avec le point où le microphone utilisé pour l'étalonnage du champ acoustique libre a été initialement placé.
- b) *Méthode de comparaison.* Le point de référence de l'appareil de correction auditive et le point de mesure doivent être tels que les résultats obtenus par les méthodes de comparaison et de substitution soient comparables, dans les limites de précision spécifiées. On utilise normalement une source acoustique ayant une caractéristique de directivité symétrique dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz et on choisit le point de référence et le point de mesure symétriquement par rapport à l'axe de la source acoustique. La distance entre le microphone à pression et l'appareil de correction auditive doit être suffisamment grande pour que la pression acoustique, en chacun de ces deux points, soit indépendante de la présence de l'un des appareils à l'autre point.

*Note:* Une distance de l'ordre de 20 à 30 cm entre le microphone de pression et l'appareil de correction auditive est généralement suffisante lorsque cet appareil et le microphone utilisés sont de petites dimensions. La méthode de comparaison ne doit être utilisée que lorsque ces conditions sont satisfaites.

- 4.3.2 *Support mécanique de l'appareil de correction auditive.* Le support doit avoir des dimensions telles et être réalisé de telle façon qu'il ne perturbe pas notablement le champ acoustique dans le voisinage de l'appareil de correction auditive, aux fréquences d'essais utilisées: il ne doit, en outre, introduire aucun effet quelconque provenant, soit de résonances mécaniques, soit de la transmission de vibrations mécaniques.

L'appareil de correction auditive doit être placé dans le champ libre sans aucun écran (baffle) ou autre dispositif similaire simulant le corps humain ou une partie quelconque du corps humain.

Le coupleur doit être suffisamment éloigné de l'appareil de correction auditive pour éviter la distorsion du champ acoustique à l'emplacement de cet appareil.

Le niveau de pression acoustique produit dans le coupleur directement par l'écouteur de l'appareil de correction auditive doit être au moins de 20 dB supérieur au niveau de pression acoustique produit dans le coupleur par le champ acoustique libre, dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz, quels que soient les niveaux de pression utilisés et le réglage du potentiomètre de gain de l'appareil.

### 4.3 Locating the hearing aid for test

- 4.3.1 *Reference point of the hearing aid.* The reference point chosen for a particular hearing aid shall normally be the centre of the microphone grille area, but where this is inappropriate (e.g. if there are two grille areas) a convenient reference point shall be used.

The reference point shall be stated in the report.

The hearing aid shall be placed with the surface in which the reference point is located, facing towards the sound source in such a way that the direction of the incident sound is perpendicular to the surface at the reference point. The position of the hearing aid differs for the substitution and comparison methods.

- a) *Substitution method.* The reference point of the hearing aid shall coincide with the test point, i.e. the point where the pressure microphone used to calibrate the sound field was previously located.
- b) *Comparison method.* The reference point of the hearing aid and the test point shall be so situated that the results of a response test carried out by the comparison method agree within specified limits of accuracy with the corresponding results obtained by the substitution method. It is normal practice to use a sound source having a directivity characteristic which is symmetrical in the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s) and to arrange the reference point and the test point symmetrically with reference to the axis of the sound source. The distance from the pressure microphone to the hearing aid shall be sufficiently great for the sound pressure at each of the two points to be independent of the presence of the apparatus at the other point.

*Note:* A distance of 20 to 30 cm from the pressure microphone to the hearing aid is usually sufficient when both the hearing aid and the pressure microphone have small physical dimensions. The comparison method should only be used if it is checked that the requirements stated are satisfied.

- 4.3.2 *Mechanical support for the hearing aid.* The support shall be of such size and design that it does not appreciably disturb the sound field in the vicinity of the hearing aid at the test frequencies used, and it shall not introduce spurious effects arising from mechanical resonances or mechanically transmitted vibrations.

The hearing aid shall be placed in the free field without any baffle or other device simulating the body or parts of the body of a wearer.

The coupler shall be sufficiently distant from the hearing aid to avoid distortion of the sound field at the position of the hearing aid.

The sound pressure level produced in the coupler by the hearing-aid earphone shall be at least 20 dB above the sound pressure level produced in the coupler by the free field within the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s) for all combinations of free-field sound pressure levels and positions of the hearing-aid volume control used.

#### 4.4 Conditions normales d'essais de l'appareil de correction auditive

Les conditions normales d'essai de l'appareil de correction auditive, lorsqu'aucune autre condition n'est prescrite, sont les suivantes:

- 1) *Position*. L'appareil de correction auditive est placé comme cela est indiqué à l'article 4.3, selon la méthode utilisée.
- 2) *Piles et tension d'alimentation*: les tensions de toutes les alimentations utilisées, mesurées à vide aux bornes de l'appareil de correction auditive, doivent être de  $n \times (1,3 \pm 0,1) \text{ V}$ ,  $n$  étant le nombre de cellules utilisées dans chaque pile. La tension utilisée doit être précisée à  $\pm 2\%$  près. La résistance interne des alimentations doit être inférieure à  $n \times 5 \text{ ohms}$ . Si une alimentation séparée est utilisée, de fausses piles ayant des dimensions égales à celles normalement utilisées dans l'appareil doivent être placées dans ce dernier.

*Note 1.* Lorsqu'on utilise des alimentations de laboratoire, il faut faire attention à ce qu'aucune erreur ne soit introduite par suite des fuites acoustiques possibles.

*Note 2.* Si de nouveaux types de piles sont utilisés dans l'avenir ou si, pour une raison quelconque, les tensions, d'alimentation ou les résistances internes mentionnées précédemment ne sont pas celles des piles actuelles, d'autres valeurs pourront être utilisées, mais elles devront être mentionnées dans le rapport d'essais.

- 3) *Position de contrôle de tonalité*. La position choisie pour le contrôle de tonalité doit être mentionnée dans le rapport d'essais. En général, la position de base, c'est-à-dire celle donnant la courbe de réponse la plus étendue, doit être choisie de préférence à celles auxquelles correspond une atténuation des fréquences basses ou élevées. Si, cependant, il y a des raisons de penser qu'une autre position de tonalité est plus représentative de l'utilisation normale de l'appareil, cette position doit être adoptée et doit être mentionnée avec précision dans le rapport d'essais.

- 4) *Contrôle automatique de gain*. Le contrôle automatique de gain (s'il existe) doit être mis hors service.

*Note:* Si un appareil de correction auditive n'a pas de commutateur permettant de mettre hors service le contrôle automatique de gain, il est possible de choisir, dans certains cas, un signal d'entrée suffisamment faible de façon à ce que le contrôle automatique de gain n'agisse pas.

- 5) *Contrôle de gain*. La position du potentiomètre de gain doit être mentionnée dans chaque cas.

- 6) *Autres contrôles*. Les positions qui semblent être celles les plus généralement utilisées avec chaque appareil, si elles existent, doivent être choisies pour les autres contrôles. Les positions choisies doivent être mentionnées dans le rapport d'essais.

- 7) *Température*. Lorsque cela est possible, les caractéristiques usuelles des appareils doivent être mesurées à une température comprise entre  $20^\circ$  et  $25^\circ\text{C}$ . La température existant au moment de l'essai doit être mesurée et mentionnée dans le rapport d'essais. De plus, des indications suffisantes doivent être données de façon à prévoir les caractéristiques pour des températures comprises entre  $5^\circ$  et  $35^\circ\text{C}$ .

#### 4.5 Caractéristique du potentiomètre de gain

Le but de cet essai est de déterminer la caractéristique du potentiomètre de gain. Quoique le procédé qui suit soit basé sur des mesures acoustiques, des techniques équivalentes relatives à des mesures purement électriques ne sont pas systématiquement inutilisables.

Ajuster le gain à la valeur requise et régler la fréquence de la source acoustique à 1 000 Hz. La caractéristique du potentiomètre de gain doit essentiellement être mesurée dans des conditions de linéarité entrée-sortie, c'est-à-dire pour une valeur suffisamment faible du niveau de pression acoustique dans le champ libre.

Le gain acoustique est représenté par la variation de la différence entre les niveaux de pression acoustique de sortie et d'entrée en fonction du déplacement, de la position du potentiomètre de gain, exprimée en pour cent,

#### 4.4 Normal operating conditions for the hearing aid

The normal hearing aid conditions to apply for measurements when no other conditions are prescribed are:

- 1) *Location.* The hearing aid is located as described in Clause 4.3, according to the method of measurement used.
- 2) *Battery or supply voltages.* The on-load voltages of all supplies measured across the hearing-aid terminals shall be  $n \times (1.3 \pm 0.1)$  V,  $n$  being the number of cells used in the particular battery. The voltage used shall be stated to  $\pm 2\%$ .

The internal resistance of the supplies shall be less than  $n \times 5$  ohms. If a laboratory supply is employed, dummy batteries with dimensions equal to those of the batteries in normal use shall be incorporated in the hearing aid.

*Note 1.* If laboratory supplies are used care shall be taken that no errors are introduced due to possible acoustic leaks.

*Note 2.* If new types of batteries come into use in the future, or if for any reasons the supply voltage or the internal resistance stated above do not simulate those of the actual batteries, other values may be used provided they are stated in the report.

- 3) *Tone-control setting.* The setting selected for the tone control shall be stated in the report on test results. In general, the basic setting, i.e. that giving the broadest frequency range, shall be selected in preference to settings in which the low or high frequencies are attenuated. If, however, there are reasons for regarding some other settings as more representative of the normal use of the hearing aid, these settings may be adopted provided they are clearly described in the report.

- 4) *Automatic gain control.* The automatic gain control (if any) shall be put out of action.

*Note:* If a hearing aid has no switch which can put the automatic gain control out of action, it may in some cases be possible to choose a sufficiently low input signal to make the automatic gain control inactive.

- 5) *Gain control.* The setting of the gain control shall be stated in each case.
- 6) *Other controls.* Settings which are deemed to be those most generally used with the particular hearing aid shall be chosen for all other controls, if any. The settings selected shall be stated in the report on test results.
- 7) *Temperature.* When possible, the normal series of tests on the hearing aid shall be carried out at a temperature between 20° and 25°C. The actual temperature at the time of testing should be measured and stated in the report on the measurements. In addition, sufficient information shall be given to predict the performance over the temperature range 5° to 35°C.

#### 4.5 Characteristic of the gain control

The purpose of this test is to determine the characteristics of the gain control. Although the procedure which follows is stated in acoustic terms, equivalent techniques involving purely electrical measurements are not thereby excluded.

Adjust the gain control as required, and adjust the frequency of the sound source to 1 000 Hz(c/s). The characteristic of the gain control shall be measured in the range where essentially linear input-output relations apply, i.e. a sufficiently low value of the free-field input sound pressure level shall be used.

The acoustic gain is plotted as the difference in the output and input sound pressure levels versus the percentage displacement of the gain-control setting.

#### 4.6 Méthode normale de représentation graphique des courbes de réponse

Une échelle logarithmique pour la fréquence, l'amplification en pression, etc. doit être utilisée. Il est suggéré qu'une décade de l'échelle de fréquence corresponde à une variation de 40 dB de l'échelle de pression acoustique ou de l'échelle de l'amplification, etc.

#### \*4.7 Influence de la position du potentiomètre de gain sur la courbe de réponse

*Le but de cet essai est de mettre en évidence l'effet, s'il existe, de la position du potentiomètre de gain sur la courbe de réponse de l'appareil de correction auditive ; les méthodes décrites peuvent ne pas être correctes pour les appareils ayant un contrôle automatique de gain incorporé.*

*La procédure d'essai est la suivante :*

- a) *Pour chacune des positions à mesurer du potentiomètre de gain, faire varier la fréquence de la source acoustique dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz et mesurer les niveaux de pression acoustique dans le coupleur. Le niveau de pression acoustique en champ libre doit être suffisamment faible pour que l'on se trouve dans des conditions « entrée-sortie » essentiellement linéaires. Dans tous les cas où il serait impossible d'exécuter un enregistrement automatique à cause de la nécessité d'utiliser un niveau de pression acoustique d'entrée très faible, les mesures devront être faites à un nombre suffisant de fréquences de façon à pouvoir déterminer la courbe de réponse.*
- b) *La courbe de réponse dessinée pour chacune des positions du potentiomètre de gain doit représenter la variation du niveau de pression acoustique dans le coupleur en fonction de la fréquence, pour un niveau de pression acoustique dans le champ libre constant ; une courbe doit être dessinée pour chaque position du potentiomètre de gain.*

#### 4.8 Influence de la position du contrôle de tonalité sur la courbe de réponse

Le but de cet essai est de mettre en évidence l'influence de la position du contrôle de tonalité sur la courbe de réponse de l'appareil de correction auditive.

- a) L'essai doit être exécuté en faisant un enregistrement continu dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz ou en exécutant les mesures à un certain nombre de fréquences fixes. Si cela est possible, l'essai doit être exécuté pour une position du potentiomètre de gain telle que l'appareil fonctionne dans des conditions « entrée-sortie » essentiellement linéaires.
- b) La courbe de réponse doit être dessinée graphiquement; elle représente la variation du niveau de pression acoustique dans le coupleur en fonction de la fréquence, pour un niveau de pression acoustique d'entrée constant. On dessinera une courbe pour chaque position du contrôle de tonalité.

#### 4.9 Courbes de réponse globales et courbe de réponse de base

Une famille de courbes de réponse est obtenue pour divers niveaux de pression acoustique d'entrée correspondant à des niveaux typiques de la parole. Cette famille de courbes met en évidence la réponse globale de l'appareil et précise ses caractéristiques « entrée-sortie ». L'une de ces courbes est la courbe de réponse de base de l'appareil (voir art. 4.9 g).

La procédure d'essai est la suivante:

- a) Ajuster le niveau de pression acoustique en champ libre à 60 dB à 1 000 Hz.
- b) Ajuster le potentiomètre de gain de façon à obtenir un niveau de pression acoustique dans le coupleur de  $100 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$  à 1 000 Hz ou, si l'appareil n'a pas un gain suffisant, régler le potentiomètre de gain au maximum.

#### 4.6 Normal method of graphical presentation of frequency-response curves

A logarithmic scale for frequency, sound pressure amplification etc. shall be used. It is suggested that one decade on the frequency scale should correspond to 40 dB on the sound pressure scale, amplification scale, etc.

#### \*4.7 Effect of gain-control positions on frequency response

*The purpose of this test is to show the effect, if any, of gain-control positions on the frequency response of the hearing aid. The methods outlined may not be suitable for hearing aids incorporating automatic gain control.*

*The test procedure should be:*

- a) *At each of the gain-control positions to be tested, vary the frequency of the sound source over the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s), and measure the sound pressure levels in the coupler. The free-field sound pressure level should be sufficiently low to provide essentially linear input-output conditions. In any case where it is impossible to make an automatic recording due to the necessity for an extremely low free-field input sound pressure level, measurements should be made at a sufficient number of frequencies to determine the frequency response.*
- b) *The frequency response should be plotted as the coupler sound pressure level versus frequency at constant free-field input sound pressure level, with a curve for each volume-control position.*

#### 4.8 Effect of tone-control positions on frequency response

The purpose of this test is to show the effect of tone-control positions on the frequency response of the hearing aid.

- a) The test may be carried out by continuous recording over the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s) or at a suitable set of fixed frequencies. The test should, if possible, include measurements with the gain control set to such a position that essentially linear input-output relations exist.
- b) The frequency response should be plotted as the coupler sound pressure level versus frequency at constant free-field input sound pressure level, with a curve for each tone-control position.

#### 4.9 Basic and comprehensive frequency response

A family of frequency response curves is to be obtained with a series of input sound pressure levels in the range in which typical speech sounds lie. This family of curves will depict the comprehensive frequency response and will indicate the input-output characteristics of the hearing aid. A suitable member of this family of curves will be considered as the basic frequency response (see Clause 4.9 g).

The test procedure is:

- a) Adjust the free-field sound pressure level to 60 dB at 1 000 Hz(c/s).
- b) Adjust the gain control to give a sound pressure level in the coupler of  $100 \text{ dB} \pm 2 \text{ dB}$  at 1 000 Hz(c/s), or, if the hearing aid does not have sufficient gain to permit this, set the gain control at maximum.

- c) Faire varier la fréquence de la source acoustique dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz en maintenant constant à 60 dB le niveau de pression acoustique dans le champ libre et mesurer les niveaux de pression acoustique dans le coupleur.
- d) Dans le cas d'un enregistrement continu, les résultats doivent être tels qu'ils ne diffèrent pas appréciablement de ceux obtenus à chaque fréquence considérée, dans le cas de mesures à des fréquences fixes.
- e) Répéter la procédure c) avec des niveaux de pression acoustique en champ libre de 50, 70 et 80 dB, ou avec tout autre niveau de pression acoustique d'entrée mettant en évidence, avec précision, la caractéristique de l'appareil.
- f) La courbe de réponse sera dessinée sur un graphique représentant la variation du niveau de pression acoustique dans le coupleur en fonction de la fréquence, pour un niveau de pression acoustique dans le champ libre constant; on dessinera une courbe pour chacun des niveaux de pression acoustique d'entrée utilisés. Les courbes doivent être normalement des courbes parallèles différant entre elles de 10 dB, dans le domaine dans lequel l'appareil fonctionne de façon essentiellement linéaire.
- g) La courbe de réponse obtenue dans les conditions précédentes et correspondant à un niveau de pression acoustique d'entrée de 60 dB sera considérée comme étant la courbe de réponse de base de l'appareil.

*Note:* Dans certains cas, en particulier dans les cas de saturation, il peut être nécessaire d'adopter un niveau de pression acoustique d'entrée plus faible ou de régler le gain de l'appareil à une valeur moins élevée pour définir une courbe de réponse de base. Si cela est fait, les conditions d'essai doivent être précisées.

#### 4.10 Niveau de pression acoustique de saturation dans le coupleur

Le but de cet essai est de déterminer la pression acoustique maximum que l'appareil est capable de produire dans le coupleur, en utilisant la pression acoustique d'entrée la plus faible permettant l'obtention du niveau de sortie maximum, à chaque fréquence d'essai.

*Note:* Cet essai donne des indications de grande importance lorsque l'on veut connaître les intensités maxima qui peuvent être produites par l'appareil et qui sont dangereuses pour l'oreille. Il faut noter que la pression acoustique dans le coupleur est généralement distordue (voir l'article 4.15 pour information complémentaire).

Le potentiomètre de gain doit être réglé au maximum.

La procédure d'essai est la suivante:

- a) A une fréquence donnée, faire croître le niveau de pression acoustique dans le champ libre jusqu'à ce qu'on obtienne une pression acoustique maximum dans le coupleur, puis mesurer le niveau de pression acoustique correspondant.

*Note:* Pour de nombreux appareils, la pression acoustique dans le coupleur atteint sa valeur maximum à une certaine fréquence, pour une pression acoustique d'entrée donnée, puis décroît pour une nouvelle augmentation de cette pression acoustique d'entrée. La mesure du niveau de saturation à l'aide d'un niveau de pression acoustique d'entrée constant et élevé peut donc conduire à des résultats incorrects.

- b) Répéter la procédure a) à un nombre suffisant de fréquences de façon à définir l'allure de la courbe donnant le niveau de pression acoustique de saturation dans le coupleur dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz.

*Note:* Il peut être nécessaire, dans le cas d'appareils ayant des réglages d'écrtage ou de contrôle automatique de volume, de répéter les mesures pour diverses positions de ces réglages.

- c) Représenter graphiquement la variation des niveaux de pression acoustique maxima dans le coupleur en fonction de la fréquence. Il peut être intéressant de dessiner cette courbe sur le graphique donnant la famille des courbes de réponse (voir l'article 4.9 f).

La procédure d'essai donnée est particulièrement adaptée aux mesures point par point; si on utilise d'autres méthodes, il est important d'éviter les erreurs possibles mentionnées dans la note a), de façon à être certain que les résultats obtenus sont conformes à ceux obtenus par la méthode ci-dessus.

- c) Vary the frequency of the sound source over the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s) keeping the free field sound pressure level constant at 60 dB, and measure the sound pressure levels in the coupler.
- d) For continuous recording the sweep rate shall be such that the response does not differ appreciably from the steady state value at any frequency.
- e) Repeat the procedure of c) with free field sound pressure levels of 50, 70 and 80 dB, or with such other input sound pressure levels as will adequately show the behaviour of the hearing aid at various input levels.
- f) The frequency response is plotted as the coupler sound pressure level versus frequency at constant free-field input sound pressure level, with a curve for each of the input sound pressure levels used. The curves will thus be parallel curves with a distance of 10 dB between neighbouring curves in the range where essentially linear input-output relations apply.
- g) The response curve obtained under the above conditions and with an input sound pressure level of 60 dB is to be considered as the basic frequency response.

*Note:* In certain cases, e.g. if a serious degree of overloading should occur, it may be necessary to adopt a lower input sound pressure level or a lower position of the gain control to define the basic frequency response. When this is done, the test conditions shall be stated.

#### 4.10 Saturation sound pressure level in the coupler

The purpose of this test is to determine the maximum coupler sound pressure that the hearing aid is capable of producing, using as much input sound pressure as is needed to produce maximum output at each test frequency.

*Note:* This test gives information which is of great value when considering whether the maximum intensities available from the hearing aid may be dangerous to the ear. It should be noted that the sound pressure in the coupler is usually far from being undistorted; for further information see Clause 4.15.

The gain control shall be turned full on.

The test procedure is:

- a) At a given frequency, increase the free-field sound pressure level until a maximum value of the coupler sound pressure is obtained, and record the coupler sound pressure level.

*Note:* For many hearing aids, the coupler sound pressure rises to a maximum at some frequencies as the sound pressure input to the hearing aid is increased, and then falls with a further increase of input sound pressure. Measurement of the saturation output using a constant high input sound pressure level may, therefore, lead to incorrect results.

- b) Repeat the procedure of a) at a sufficient number of frequencies to define the shape of the curve showing the saturation sound pressure level in the coupler within the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s).

*Note:* It may be necessary, when making measurements on hearing aids with adjustable peak clipping and automatic gain control, to repeat the measurements at various settings.

- c) Plot the maxima of coupler sound pressure levels against frequency. It may be appropriate to plot this curve on the graph showing the family of frequency-response curves (see Clause 4.9 f).

The test procedure given above is particularly adapted to point-by-point measurement. If other methods are used, it is important that the possible error referred to in the note to a) should be avoided in order to secure that the results obtained conform with those obtained using the above method.

#### 4.11 Gain acoustique maximum

Le but de cet essai est de déterminer le gain acoustique maximum de l'appareil de correction auditive.

Régler le potentiomètre de gain au maximum et utiliser les conditions de la procédure d'essai décrite à l'article 4.7 a).

*Note:* Dans le cas où la position du potentiomètre de gain n'a aucune influence sur la courbe de réponse, il est seulement nécessaire de mesurer le gain acoustique maximum à une seule fréquence, à 1 000 Hz par exemple, car la comparaison du résultat de cette mesure avec la courbe de réponse de base donne le gain acoustique maximum à toutes les fréquences, dans la bande 200 — 5 000 Hz.

La courbe de variation du gain acoustique maximum sera représentée graphiquement par la variation de la différence entre les niveaux de pression acoustique de sortie et d'entrée en fonction de la fréquence.

#### \*4.12 Influence sur le gain acoustique de la variation des tensions de chauffage et de polarisation

*Le but de cet essai est de déterminer l'influence sur le gain acoustique de la variation des tensions d'alimentation. Quoique la procédure qui suit soit basée sur des mesures acoustiques, des techniques équivalentes mettant en jeu des mesures purement électriques sont également utilisables. La procédure d'essai recommandée est la suivante:*

*Utiliser la tension d'alimentation spécifiée ci-dessous.*

- a) Régler la fréquence acoustique de la source à 1 000 Hz.
- b) Après avoir réglé le niveau de pression acoustique en champ libre et le potentiomètre de gain, mesurer la variation, dans le coupleur, du niveau de pression acoustique, pour diverses valeurs de l'une des tensions d'alimentation, pour des tensions comprises entre  $n \times 1,5$  V et  $n \times 0,9$  V,  $n$  étant le nombre de cellules de la pile considérée, en conservant constantes les autres tensions d'alimentation, si elles existent, à leur valeur normale d'utilisation.
- c) Dessiner sur un papier à coordonnées polaires la variation du gain acoustique par rapport au gain correspondant à la tension normale d'utilisation, en fonction de la tension d'alimentation. Une variation de 20 dB de l'échelle du gain doit correspondre approximativement à la variation de tension de l'échelle des tensions.
- d) Répéter la procédure b) avec l'autre tension d'alimentation, si elle existe, comme variable.
- e) Présenter les résultats d) de la même manière que ceux obtenus en c).

*Note:* Il peut être également intéressant de mesurer l'influence des variations des tensions d'alimentation sur le gain acoustique maximum ou sur le niveau de pression acoustique de saturation dans le coupleur.

#### \*4.13 Influence sur le gain acoustique de la variation de la résistance interne des alimentations

*Le but de cet essai est de déterminer l'influence sur le gain acoustique de la variation de la résistance interne des alimentations. Quoique la procédure d'essai qui suit soit basée sur des mesures acoustiques, des techniques équivalentes mettant en jeu des mesures purement électriques sont également utilisables. La procédure d'essai recommandée est la suivante:*

*Utiliser la résistance interne d'alimentation spécifiée ci-dessous.*

- a) Régler la fréquence de la source acoustique à 1 000 Hz.
- b) Après avoir réglé le niveau de pression acoustique en champ libre et le potentiomètre de gain, mesurer la variation, dans le coupleur, du niveau de pression acoustique, pour diverses valeurs de la résistance interne de l'une des alimentations comprises entre la valeur relative à la pile neuve et  $n \times 100$  ohms,  $n$  étant le nombre de cellules de la pile considérée, en gardant constantes les résistances internes des autres alimentations, si elles existent, à leur valeur normale et en conservant également constantes à leur valeur normale les tensions d'alimentation mesurées aux bornes de l'appareil.

#### 4.11 Maximum acoustic gain

The purpose of this test is to determine the maximum acoustic gain obtainable with the hearing aid.

Turn the gain control full on and use the conditions and procedure described in Clause 4.7 a).

*Note:* In cases where the gain control position has no influence on the frequency response, it is only necessary to measure the maximum acoustic gain at one frequency, say 1 000 Hz(c/s), as the result of this measurement in conjunction with the basic frequency response gives the maximum acoustic gain at all frequencies within the frequency range 200 — 5 000 Hz(c/s).

The maximum acoustic gain is plotted as the difference in the output and input sound pressure levels versus frequency.

#### \*4.12 Effect on acoustic gain of variation of battery or supply voltage

*The purpose of this test is to determine the effect on the acoustic gain of variation of battery or supply voltage. Although the procedure which follows is stated in acoustic terms, equivalent techniques involving purely electrical measurements are not thereby excluded. A recommended test procedure is:*

*Use the supply voltage specified below.*

- a) *Adjust the frequency of the sound source to 1 000 Hz(c/s).*
- b) *Having adjusted the free-field sound pressure level and the setting of the gain control, measure the change in coupler sound pressure level for various values of one of the supply voltages within the voltage range from  $n \times 1.5$  V to  $n \times 0.9$  V,  $n$  being the number of cells in the particular battery, keeping all other supply voltages, if any, at the normal values.*
- c) *Plot on rectangular coordinate paper the deviation of the acoustic gain from the gain at the normal supply voltage against the supply voltage. 20 dB on the deviation scale should correspond approximately to the voltage range on the supply voltage scale.*
- d) *Repeat the procedure of b) with another supply voltage, if any, as the variable.*
- e) *Plot the results of d) in a manner corresponding to that described in c).*

*Note: It may also be of interest to measure the influence on the maximum acoustic gain, or on the saturation sound pressure level in the coupler.*

#### \*4.13 Effect on acoustic gain of variation of internal resistance of battery or supply

*The purpose of this test is to determine the effect on the acoustic gain of variation of internal resistance of the battery or supply. Although the procedure which follows is stated in acoustic terms, equivalent techniques involving purely electrical measurement are not thereby excluded. A recommended test procedure is :*

*Use the supply internal resistance specified below.*

- a) *Adjust the frequency of the sound source to 1 000 Hz(c/s.)*
- b) *Having adjusted the free-field sound pressure level and the setting of the gain control, measure the change in coupler sound pressure level for various values of the internal resistance of one supply within the resistance range from the resistance of the new battery to  $n \times 100$  ohms,  $n$  being the number of cells in the particular battery, keeping the internal resistance of all other supplies, if any, at the normal values and keeping all supply voltages at the normal values when measured across the hearing-aid terminals.*

- c) Dessiner sur un papier à coordonnées polaires la variation du gain acoustique par rapport au gain correspondant à la valeur normale de la résistance interne de l'alimentation. Une déviation de 20 dB de l'échelle du gain doit correspondre approximativement à la variation de résistance de l'échelle des résistances internes.
- d) Répéter la procédure b) en considérant comme variable la résistance interne de l'autre alimentation, si elle existe.
- e) Présenter les résultats d) de la même manière que ceux obtenus en c).

**\*4.14 Courbe de réponse et courbe d'impédance électrique de l'écouteur** (relevées dans des conditions spécifiées)

L'écouteur est placé sur le coupleur et est alimenté à une puissance électrique correspondant à des conditions aussi voisines que possible de celles de l'utilisation pratique. Le niveau de pression acoustique doit être mesuré dans la bande de fréquences 200 — 5 000 Hz, pour une tension électrique d'entrée spécifiée.

Si l'écouteur est traversé par un courant continu lorsqu'il est utilisé avec l'appareil de correction auditive, le même courant électrique doit lui être appliqué lors de l'essai, avec une polarisation correcte. L'écouteur doit comprendre si nécessaire tout tube de connexion avec lequel il est utilisé pratiquement. Dans certains cas, il peut être utile d'obtenir l'impédance électrique de l'écouteur dans des conditions d'excitation données.

**4.15 Distorsion harmonique**

Le but de cet essai est de déterminer le coefficient de distorsion harmonique de la pression acoustique produite, dans des conditions d'excitation données.

Le pourcentage total de distorsion harmonique est conventionnellement donné par la formule suivante:

$$100 \sqrt{\frac{p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots}{p_1^2 + p_2^2 + p_3^2 + p_4^2 + \dots}}$$

formule dans laquelle  $p_1$  est l'amplitude de la pression acoustique dans le coupleur correspondant à la fréquence fondamentale et dans laquelle  $p_2, p_3, p_4$ , etc. sont les amplitudes des pressions acoustiques correspondant aux fréquences harmoniques.

L'essai normal doit être exécuté avec un niveau de pression acoustique en champ libre de 60 dB, aux fréquences 400, 1 000 et 1 500 Hz. A chaque mesure, le potentiomètre de gain de l'appareil doit être réglé de façon à ce que le niveau de pression acoustique total dans le coupleur croisse de 10 en 10dB, si possible à partir de 80 dB, jusqu'à la valeur maximum pouvant être obtenue.

*Note 1.* La plus faible valeur du niveau de pression acoustique dans le coupleur pour laquelle la distorsion harmonique totale atteint 10%, est considérée correspondre au niveau de pression acoustique nominale maximum. Dans certains cas, par exemple pour une amplification de classe B, cette notion peut être incorrecte.

*Note 2.* Il peut être préférable, quelquefois, de mesurer les niveaux de pression acoustique correspondant à chacun des harmoniques plutôt que la distorsion harmonique totale.

**4.16 Influence sur la distorsion harmonique de la variation des tensions de chauffage et de polarisation**

Le but de cet essai est de déterminer l'influence, sur la distorsion harmonique, des variations des tensions d'utilisation.

Répéter la procédure décrite à l'article 4.15 à 1 000 Hz seulement, en utilisant des tensions d'alimentation égales à  $n \times 1$  V,  $n$  étant le nombre de cellules de la pile considérée.